



**MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA  
MINISTERIO DE RELACIONES EXTERIORES**

**Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)  
Proyecto BOL/94336 – “TDPS”**

**“Estimación de demanda Hídrica Multisectorial del Sistema  
Titicaca – Desaguadero – Poopó – Salar de Coipasa (TDPS)”**



La Paz, 2021

**ESTIMACIÓN DE DEMANDA HÍDRICA MULTISECTORIAL DEL SISTEMA  
TITICACA – DESAGUADERO – POOPÓ – SALAR DE COIPASA (TDPS)**

**AUTORES INSTITUCIONALES:**

Ministerio de Medio Ambiente y Agua

Ministerio de Relaciones Exteriores

**ELABORADO POR:**

Ing. Aquiles Arce Laura

Ing. Arpad Luis Gonzales Tomanyi

Ing. Windsor Rafael Paredes Argote

**PUBLICACIÓN PARA CITAR COMO:**

MMAyA, 2022. Estudio de Estimación de Demanda Hídrica Multisectorial del Sistema Titicaca – Desaguadero – Poopó – Salar de Coipasa (TDPS). Ministerio de Medio Ambiente y Agua. Ministerio de Relaciones Exteriores. 151 p.

El presente documento ha sido elaborado en el marco del “Estudio Complementario 3” del Proyecto Gestión Integral de Recursos Hídricos del Sistema Titicaca – Desaguadero – Poopó – Salar de Coipasa (GRIH – TDPS), con apoyo financiero del Fondo Global para el Medio Ambiente (GEF por sus siglas en inglés) administrados por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

## CONTENIDO

	Página
1 INTRODUCCIÓN .....	1
2 OBJETIVOS .....	2
2.1 Objetivo general.....	2
2.2 Objetivos específicos.....	2
3 MARCO DE DESARROLLO DEL ESTUDIO .....	2
3.1 Metodología .....	2
3.2 Actividades en gabinete: .....	4
3.3 Actividades en campo .....	8
3.4 Priorización de municipios para relevamiento de campo.....	12
3.5 Estimación de la demanda consumo humano (agua potable) .....	12
3.5.1 Metodología de cálculo .....	12
3.5.1.1 Población .....	12
3.5.1.2 Crecimiento poblacional y proyección de la población.....	13
3.5.1.3 Dotación y demanda de agua.....	15
3.5.2 Fuentes de información y la base de datos .....	16
3.6 Estimación de la demanda actividad agrícola (riego) .....	18
3.6.1 Metodología de cálculo .....	18
3.6.1.1 Coeficiente de cultivo Kc .....	19
3.6.1.2 Cédulas de cultivo y calendario agrícola .....	21
3.6.1.3 Evapotranspiración potencial de referencia ET <sub>0</sub> .....	24
3.6.1.4 Factores meteorológicos que determinan la ET.....	24
3.6.1.5 Fórmulas de cálculo .....	25
3.6.1.6 Modelación de demanda de riego utilizando el elemento Catchment en WEAP	26
3.6.2 Información hidrometeorológica para la estimación de la demanda de agua de riego	30
3.6.2.1 Información recopilada .....	30
3.6.2.2 Análisis de la información recopilada.....	31
3.6.2.2.1 Estudio de Balance Hídrico TDPS.....	31

3.6.2.2.2	Balance hídrico Superficial de Bolivia 1980-2016 .....	32
3.6.2.2.3	Estudio de Cambio Climático TDPS .....	34
3.6.2.2.4	Conclusiones sobre la información hidrometeorológica .....	38
3.6.3	Implementación del cálculo .....	38
3.7	Estimación de la demanda actividad ganadería.....	41
3.7.1	Metodología.....	41
3.7.1.1	Tipos de ganado con mayor incidencia en el consumo de agua .....	41
3.7.1.2	Número de cabezas y proyección del crecimiento .....	42
3.7.1.3	Consumo per-cápita de agua para diferentes ganados .....	46
3.8	Estimación de la demanda actividad turismo .....	46
3.8.1	Copacabana.....	46
3.8.2	Ciudad de El Alto.....	48
3.8.3	Tiawanacu .....	48
3.8.4	Ciudad de Oruro.....	48
3.8.5	Parque Nacional Sajama .....	49
3.9	Estimación de la demanda actividad industrial .....	49
3.10	Estimación de la demanda actividad minera .....	51
3.11	Acuicultura .....	52
3.12	Estimación de la demanda ecosistemas (bofedales) .....	53
4	RESULTADOS.....	55
4.1	Demanda agua consumo humano .....	55
4.1.1	Categorías de centros poblados .....	55
4.1.2	Número de habitantes .....	58
4.1.3	Demanda de agua para consumo humano.....	62
4.1.4	Proyecciones de la demanda de agua .....	67
4.2	Demanda actividad agrícola .....	69
4.2.1	Categorías de las unidades de riego .....	69
4.2.2	Áreas agrícolas totales y áreas bajo riego .....	74
4.2.3	Zonificación de la cédula de cultivos .....	83
4.2.4	Demanda de agua para riego en volumen.....	85
4.2.5	Demanda de agua para riego en m <sup>3</sup> /ha.....	91

4.3	Demanda actividad ganadería.....	95
4.3.1	Número de cabezas de ganado.....	95
4.3.2	Demanda de agua para ganadería .....	101
4.3.3	Proyecciones de la demanda de agua para ganadería .....	107
4.4	Demanda actividad turismo .....	108
4.5	Demanda actividad industrial .....	110
4.5.1	Número de industrias .....	110
4.5.2	Demanda de agua para industria.....	113
4.5.3	Proyecciones de demanda de agua para industria.....	116
4.6	Demanda actividad minería .....	116
4.6.1	Número de centros mineros.....	117
4.6.2	Demanda de agua para minería.....	121
4.7	Agua ecosistemas (bofedales).....	126
4.7.1	Área de bofedales .....	126
4.7.2	Requerimiento de agua en volumen .....	130
4.7.3	Requerimiento de agua en m <sup>3</sup> /ha .....	131
4.8	Demanda hídrica multisectorial .....	134
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	139
5.1	Conclusiones.....	139
5.2	Recomendaciones .....	143
6	REFERENCIAS .....	147

## Índice de Tabla

Página

Tabla 1. Aplicación de métodos de cálculo para la proyección de la población .....	14
Tabla 2. Dotaciones máximas de agua para la región del Altiplano .....	16
Tabla 3. Coeficientes de cultivo Kc para cultivos identificados en el TDPS .....	20
Tabla 4. Calendario agrícola diferentes cultivos para el sector boliviano del TDPS .....	23
Tabla 5. Diagrama de cálculo de la evapotranspiración potencial de referencia.....	25
Tabla 6. Información mínima requerida para modelamiento en WEAP .....	28
Tabla 7. Consumo de agua de diferentes ganados en el TDPS.....	41
Tabla 8. Tasas de crecimiento anual de número de cabezas de ganado (%) .....	44
Tabla 9. Tasas anuales de crecimiento de la población de ganados según INE, 2020 .....	46
Tabla 10. Consumo de agua de ganado.....	46
Tabla 11. Principales festividades de Copacabana y afluencia turística.....	47
Tabla 12. Distribución mensual de ingreso de turistas.....	48
Tabla 13. Afluencia turística PN Sajama .....	49
Tabla 14. Crecimiento de PIB-Industria manufacturera por departamentos (%) .....	50
Tabla 15. Demanda de agua del sector industria, actual y proyección al 2050 (MMC) .....	51
Tabla 16. Áreas de bofedal por subcuencas .....	55
Tabla 17. Categorías de los sistemas de agua potable. ....	55
Tabla 18. Categorías de los centros poblados por subcuencas del sistema TDPS.....	56
Tabla 19. Categorías de los centros poblados por municipios del sistema TDPS.....	57
Tabla 20. Categorías de los centros poblados con mayor población y demanda de agua.....	58
Tabla 21. Número de habitantes por subcuenca y categoría. ....	58
Tabla 22. Demanda de agua por subcuenca y categoría al 2020 en m <sup>3</sup> .....	62
Tabla 23. Demanda anual de agua para consumo humano (MMC) por subcuencas, actual y proyecciones al 2050 .....	67
Tabla 24. Demanda anual de agua para consumo humano (MMC) por municipios, actual y proyecciones al 2050 .....	68
Tabla 25. Categorías de las unidades de riego por subcuencas .....	69
Tabla 26. Categorías de las unidades de riego por municipio .....	71
Tabla 27. Área agrícola total y el área bajo riego .....	75
Tabla 28. Áreas bajo riego en ha por subcuencas y categorías .....	78
Tabla 29. Zonificación de la cédula de cultivo .....	83
Tabla 30. Demanda de agua en m <sup>3</sup> por subcuencas y categorías.....	85
Tabla 31. Demanda de agua para riego, en MMC por subcuencas .....	88
Tabla 32. Número de unidades de riego por niveles de demanda en m <sup>3</sup> /ha, por subcuencas ...	91
Tabla 33. Promedio de demanda de agua para riego por niveles de requerimiento en m <sup>3</sup> /ha, por subcuencas.....	92
Tabla 34. Demanda de agua para riego en m <sup>3</sup> , por cédula de cultivos .....	95
Tabla 35. Número de cabezas de ganado por subcuenca y tipo de ganado .....	96

Tabla 36. Demanda de agua del sector ganadero por subcuenca y tipo de ganado.....	101
Tabla 37. Demanda de agua para consumo del ganado (MMC), por subcuencas, actual y proyecciones.....	107
Tabla 38. Demanda de agua por susbcuenca, municipio y localidad en MMC .....	108
Tabla 39. Número de industrias y demanda de agua por cuenca y municipios.....	110
Tabla 40. Tipo de industria por cuencas .....	112
Tabla 41. Demanda de agua del sector industrial .....	113
Tabla 42. Demanda de agua del sector industria, actual y proyección al 2050 (MMC) .....	116
Tabla 43. Número de centros mineros y demanda de agua anual por subcuencas .....	117
Tabla 44. Número de centros mineros por municipios .....	118
Tabla 45. Número de centros mineros por municipios .....	125
Tabla 46. Número, área, volumen y demanda de agua para mantenimiento de bofedales por subcuencas.....	127
Tabla 47. Demanda de agua en TDPS por subcuencas y sectores (MMC) .....	134

## Índice de Figuras

	Página
Figura 1. Resumen de actividades de campo y gabinete.....	3
Figura 2. Esquema del sistema de riego Pujro y Viconda, Municipio Challapata, subcuenca Poopó .....	5
Figura 3. Esquema del sistema de riego Kalla Copohuta, Municipio Jesús de Machaca, subcuenca Alto Desaguadero.....	5
Figura 4. Principales procesos de campo y gabinete .....	6
Figura 5. Desarrollo del trabajo de campo .....	8
Figura 6. Talleres participativos .....	9
Figura 7. Reuniones participativas.....	10
Figura 8. Visitas de campo .....	10
Figura 9. Municipios priorizados para el relevamiento de datos de campo .....	11
Figura 10. Curva generalizada del coeficiente del cultivo, para procedimiento del coeficiente único del cultivo .....	19
Figura 11. Cédulas de cultivo .....	22
Figura 12. Cédulas de cultivo tipo generalizadas para el TDPS-Bolivia .....	23
Figura 13. Modelo de cuenca basado en humedad del suelo .....	27
Figura 14. Ventana de datos del área de cultivo (Land Use) .....	29
Figura 15. Ventana para la introducción de datos meteorológicos .....	30
Figura 16. Precipitación y temperatura media anual – Olmos 2016 .....	31
Figura 17. Humedad relativa, velocidad de viento e insolación.....	32
Figura 18. Mapas de precipitación promedio anual y temperatura media anual GMET-Bolivia .	33
Figura 19. Estaciones meteorológicas y variables consideradas en el estudio de cambio climático .....	35
Figura 20. Resolución espacial salidas de modelos de circulación global GCM .....	37
Figura 21. Ubicación de áreas bajo riego en el TDPS – Bolivia (centroides).....	39
Figura 22. Esquema del modelo utilizado.....	40
Figura 23. Requerimiento de riego: series histórica mensual y promedios mensuales.....	40
Figura 24. Comparación de datos CNA 2012 y encuestas de campo .....	42
Figura 25. Regiones de crecimiento de ganadería - TDPS .....	45
Figura 26. Actividades del sector minero en el TDPS .....	51
Figura 27. Bofedales en el sistema TDPS .....	54
Figura 28. N° de centros poblados por subcuenca y categoría .....	56
Figura 29. N° de habitantes por subcuenca y categoría .....	59
Figura 30. N° de habitantes (al 2020) por subcuenca del sistema TDPS .....	60
Figura 31. Distribución del número de habitantes al 2020 .....	61
Figura 32. N° de habitantes por subcuenca y categoría .....	62
Figura 33. Distribución de la demanda anual actual de agua para consumo humano (MMC), por subcuencas.....	63
Figura 34. Distribución de la demanda anual de agua para consumo humano al 2020 .....	64

Figura 35. Distribución de la demanda anual actual de agua para consumo humano (MMC), por municipios.....	65
Figura 36. Distribución de la demanda anual de agua para consumo humano por municipios al 2020 .....	66
Figura 37. Demanda de agua para consumo, por subcuencas, actual y proyecciones al 2050 ...	67
Figura 38. Evolución de la demanda anual de agua para consumo humano (MMC).....	68
Figura 39. Número de unidades de riego por subcuencas y categorías.....	70
Figura 40. Número de unidades de riego por subcuencas y categorías.....	70
Figura 41. Número de unidades de riego por municipio.....	73
Figura 42. Municipios con uno o más sistema de riego con categorías mediana y mayor. ....	74
Figura 43. Área agrícola total y área bajo riego por subcuenca del sistema TDPS.....	75
Figura 44. Área bajo riego con relación al área agrícola total por subcuenca del sistema TDPS. ....	76
Figura 45. Distribución del área de riego en ha.....	77
Figura 46. Áreas bajo riego por subcuencas y categorías.....	78
Figura 47. Áreas bajo riego en has, subcuenca Poopó .....	79
Figura 48. Áreas bajo riego por subcuencas y categorías.....	80
Figura 49. Distribución del área bajo riego por municipios en ha .....	81
Figura 50. Zonificación de la cédula de cultivos .....	82
Figura 51. Composición de la cédula de cultivo del sistema TDPS .....	84
Figura 52. Composición de la cédula de cultivos por subcuencas.....	84
Figura 53. Demanda de agua en volumen por subcuenca y categoría.....	86
Figura 54. Demanda de agua en volumen (m <sup>3</sup> ) por subcuenca y categoría.....	86
Figura 55. Demanda de agua anual para riego en m <sup>3</sup> .....	87
Figura 56. Demanda promedio mensual de agua para riego en m <sup>3</sup> .....	89
Figura 57. Distribución de la demanda anual de agua para riego por municipios (MMC).....	89
Figura 58. Distribución de la demanda anual de agua para riego en m <sup>3</sup> por municipio .....	90
Figura 59. Número de unidades de riego por subcuenca y niveles de requerimiento en m <sup>3</sup> /ha .....	92
Figura 60. Distribución de la demanda anual de agua para riego en m <sup>3</sup> /ha .....	93
Figura 61. Demanda anual de agua para riego por municipios (mayor a 10.000 m <sup>3</sup> /ha) .....	94
Figura 62. Participación del tipo de ganado en número de cabezas por Subcuenca .....	96
Figura 64. Total cabezas de ganado por cuencas y por tipo de ganado .....	97
Figura 64. Distribución del número de cabezas de ganado por subcuenca .....	98
Figura 65. Municipios con mayor número de cabezas de ganado bovino .....	99
Figura 66. Municipios con mayor número de cabezas de ganado ovino .....	99
Figura 67. Municipios con mayor número de cabezas de ganado porcino .....	100
Figura 68. Municipios con mayor número de cabezas de ganado alpaca .....	100
Figura 69. Municipios con mayor número de cabezas de llama .....	101
Figura 70. Participación del tipo de ganado en la demanda de agua por subcuenca .....	102
Figura 71. Demanda de agua anual y actual para consumo del ganado (m <sup>3</sup> ), por subcuencas (a) y por tipo de ganado (b) .....	103
Figura 72. Distribución de la demanda de agua para la ganadería según tipo de ganado .....	104
Figura 73. Demanda de agua para consumo de ganado por municipio.....	105

Figura 74. Distribución de la demanda de agua para la ganadería por municipio .....	106
Figura 75. Proyecciones de la demanda de agua por subcuencas en MMC .....	107
Figura 76. Demanda anual de agua sector turismo por subcuenca y localidad (MMC) .....	108
Figura 77. Distribución espacial de la demanda anual de agua sector turismo .....	109
Figura 78. Número de industrias por municipio .....	111
Figura 79. Demanda de agua del sector industrial en m <sup>3</sup> por a) subcuencas y b) municipios. .	114
Figura 80. Demanda de agua por tipo de industria .....	114
Figura 81. Demanda de agua del sector industrial, por subcuenca y tipo de industria .....	115
Figura 82: Número de centros mineros por subcuencas.....	118
Figura 83: Número de centros mineros por municipio .....	119
Figura 84: Distribución espacial de centros mineros.....	120
Figura 85. Número de centros mineros y demanda anual de agua por subcuencas (MMC) .....	121
Figura 86. Demanda de agua del sector minero en el TDPS.....	122
Figura 87. Demanda de agua del sector minero en la subcuenca Poopó .....	123
Figura 88. Demanda de agua del sector minero en la subcuenca Suches.....	124
Figura 89. Número de centros mineros y demanda anual de agua por municipio (m <sup>3</sup> ) .....	126
Figura 90. Requerimiento de agua de bofedales en a) área (% de ha) y b) volumen (% de m <sup>3</sup> )	127
Figura 91. Municipios con mayor superficie de bofedales .....	128
Figura 92. Distribución del área de bofedales por municipio (has) .....	129
Figura 93. Municipios con mayor requerimiento de agua para mantenimiento de bofedales .	130
Figura 94. Requerimiento de agua de bofedales (m <sup>3</sup> /ha) .....	131
Figura 95. Requerimiento anual de agua para mantenimiento de bofedales, en m <sup>3</sup> /ha.....	132
Figura 96. Distribución espacial del requerimiento de agua para mantenimiento de bofedales .....	133
Figura 97. Distribución espacial de la demanda de agua total anual .....	135
Figura 98. Demanda de agua multisectorial total y anual por subcuencas (MMC) .....	136
Figura 99. Demanda total anual de agua por subcuencas (MMC) .....	137
Figura 100. Demanda anual de agua en TDPS por sectores (MMC) .....	138
Figura 101. Municipios con mayor demanda de agua anual, mayor a 10 MMC .....	139

## 1 INTRODUCCIÓN

El Sistema Lago Titicaca, Río Desaguadero, Lago Poopó y Salar de Coipasa (Sistema T.D.P.S.) es una cuenca endorreica compartida entre Perú y Bolivia, compuesta por 14 cuencas, de las cuales 9 están dentro del territorio de Bolivia; este sistema presenta claros indicadores de deterioro ambiental a pesar de existir mecanismos binacionales de cooperación y de múltiples esfuerzos realizados por Perú y Bolivia, de esta forma durante la gestión 1995 se elaboró el Plan Director Global Binacional del Sistema TDPS que contemplaba diferentes estudios y propuesta de medidas con el objetivo de protección/prevención de inundaciones y aprovechamiento de los recursos hídricos del TDPS.

De las 9 cuencas presentes en el territorio boliviano, 3 elaboraron Planes Directores de Cuenca en el marco de las políticas sectoriales del MMAyA/VRHR, entre las que están la Cuenca del Río Katari y Lago Menor del Titicaca (PDCK y LMT), Cuenca del Lago Poopó (PDC Poopó) y Cuenca del Río Suches (PDC Suches).

El PDCK y LMT actualizado durante la gestión 2017, resalta dos líneas estratégicas relacionadas con el temática de demanda hídrica, como son: i) Seguridad hídrica poblacional y productiva, cuyo objetivo es “garantizar el acceso y uso del agua para la vida y el desarrollo integral, en equilibrio con los sistemas de vida de la Madre Tierra”, también se puede resaltar la línea estratégica; ii) Gestión de la calidad hídrico-ambiental, cuyo objetivo es “disminuir la contaminación ambiental proveniente de diversas fuentes contaminantes y mejoramiento de la estructura pluvial y sistemas hídricos”.

El PDC Poopó actualizado durante la gestión 2018, resalta la línea estratégica: Balance hídrico para la vida y el desarrollo integral, vinculado con la temática de demanda hídrica, cuyo el objetivo es garantizar el acceso y uso del agua para la vida y el desarrollo integral, en equilibrio con los sistemas de vida de la Madre Tierra, presentando cuatro líneas de acción: i) Gestión de la oferta hídrica y riesgos hidrológicos, ii) Gestión de la demanda de agua para la vida y desarrollo integral, iii) Monitoreo del régimen hidroclimático y, iv) Gestión sustentable de aguas subterráneas.

El PDC Suches elaborado durante la gestión 2019 presenta la estrategia “Gestión de los Recursos Hídricos” con el objetivo es impulsar la seguridad hídrica, asegurando el acceso y uso del agua para la vida (riego, consumo humano y biodiversidad) y el desarrollo integral, reduciendo la vulnerabilidad a los riesgos hidroclimáticos y de contaminación.

Durante la gestión 2017 se realizó el estudio de “Balance Hídrico Integral del Sistema TDPS” en el marco de los Planes Directores de Cuenca, estimándose para Bolivia una demanda de agua para consumo humano de 12.5 Hm<sup>3</sup> /año, y para riego de 7.96 Hm<sup>3</sup>/año.

En el marco del Proyecto GIRH TDPS durante la gestión 2020 fue previsto realizar el “Estudio de Demanda Hídrica multisectorial del sistema TDPS”, como parte de los estudios complementarios Binacionales para el Análisis de Diagnóstico Transfronterizo (ADT) del Sistema TDPS, estudio que

fue previsto tanto para Perú como Bolivia; en el caso de Bolivia el estudio se desarrolló en las cuencas: Huaycho, Suches, Katari, Medio Desaguadero, Alto Desaguadero, Mauri, Poopó, Coipasa y Circunlacustre al Lago Titicaca, abarcando una superficie 111.261 km<sup>2</sup>; en términos político administrativos el presente estudio contemplo 3 departamentos y 95 municipios, los cuales son: La Paz con 53 municipios, Oruro con 35 municipios y Potosí con 3 municipios.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Estimar la demanda hídrica multisectorial en el ámbito del Sistema TDPS, jurisdicción territorial del Estado Plurinacional de Bolivia.

### **2.2 Objetivos específicos**

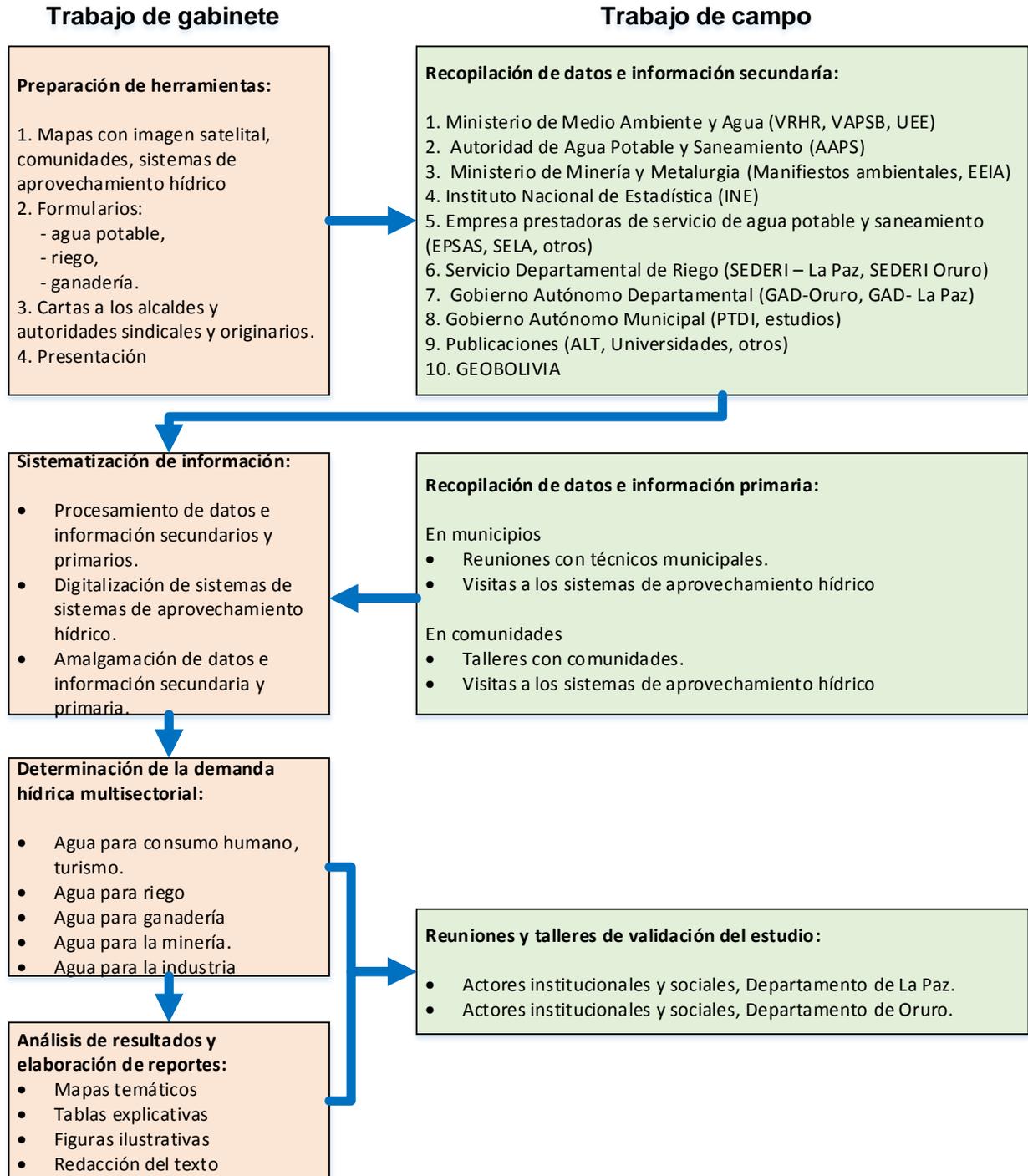
- Recopilar y sistematizar datos e información secundaria relacionada a los usos y demandas hídricas multisectoriales actuales y futuras.
- Recopilar y sistematizar datos e información primaria, mediante trabajos de campo, acerca de los sistemas de aprovechamiento hídrico multisectoriales y demandas actuales y futuras.
- Construir y generar una estructura de base de datos georreferenciada y tabular de demanda hídrica multisectorial, a partir de la amalgamación de los datos e información secundaria y trabajos de campo.
- Estimar y cuantificar por cada sector y unidad hidrográfica identificada, la Demanda Hídrica Multisectorial, como resultados principales del estudio.

## **3 MARCO DE DESARROLLO DEL ESTUDIO**

### **3.1 Metodología**

En la siguiente figura se presenta un resumen de actividades de campo y gabinete. A continuación, se describe cada uno de ellos:

**Figura 1. Resumen de actividades de campo y gabinete**



## **3.2 Actividades en gabinete:**

### **Preparación de herramientas**

El equipo técnico<sup>1</sup> elaboró herramientas para el levantamiento de información secundaria y primaria: a) los mapas con imagen satelital, comunidades, sistemas de aprovechamiento hídrico; los formularios de agua potable, riego y ganadería; b) las cartas dirigidas a los alcaldes y autoridades sindicales y originarias, las mismas fueron remitidas, luego se hizo seguimiento para asegurar la coordinación de los trabajos de campo; c) una presentación para las reuniones y talleres, a manera de introducción y motivación para el desarrollo de trabajo de campo.

Se ha logrado capacitar a los seis (6) técnicos de campo: a) en el uso y aplicación de las mencionadas herramientas de campo; b) en digitalización de sistemas de aprovechamiento hídrico, con base en la información secundaria y primaria (obtenida en trabajos de campo), aplicando diversos criterios (fotointerpretación de imágenes satelitales, curvas de nivel, NDVI y aprendizaje de experiencias).

### **Recopilación de datos e información secundaria**

Se realizaron actividades interactivas y recursivas de recopilación de datos e información secundaria desde las entidades sectoriales y territoriales competentes. Inicialmente se solicitó mediante notas datos e información, la respuesta fue de diversas formas: a) acceso a su sistema de archivos, base de datos y reporte en forma impresa, la misma fue necesario sistematizar, transcribir con el apoyo de los técnicos de campo; b) respuesta en físico o digital con datos e información relacionado con la demanda hídrica.

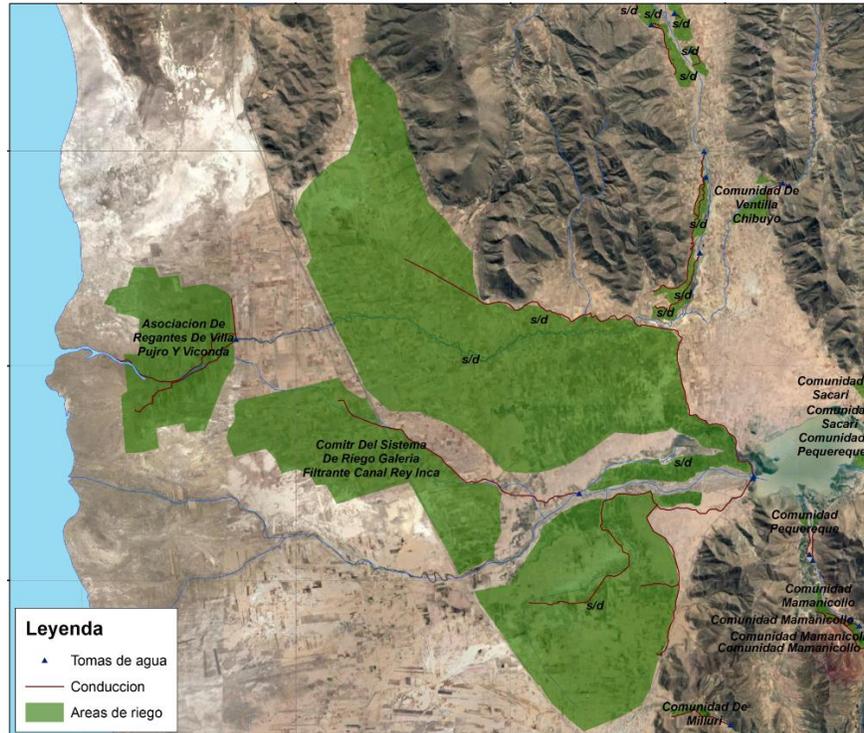
### **Sistematización de datos e información**

Una vez recopilado los datos e información secundaria y de campo, el trabajo de gabinete consistió en digitalizar, sistematizar y controlar la calidad de los datos e información acerca de los sistemas de aprovechando hídrico multisectorial. Cada técnico de campo ha sistematizado y procesado los formularios y registro de datos provenientes de las instituciones sectoriales competentes. De manera complementaria también fue digitalizado los sistemas de aprovechamiento hídrico, aplicando diversos criterios técnicos mencionados anteriormente (Figura 2 y 3). En la medida que se fue procesando la información se fue alimentando la estructura de base de datos de demanda hídrica.

---

<sup>1</sup> Equipo técnico contemplo: 1 Coordinador del estudio, 1 Especialista en tratamiento para la información hidrometeorológica, 1 Técnico en Sistemas de Información Geográfica y 6 técnicos de campo.

**Figura 2. Esquema del sistema de riego Pujro y Viconda, Municipio Challapata, subcuenca Poopó**



**Figura 3. Esquema del sistema de riego Kalla Copohuta, Municipio Jesús de Machaca, subcuenca Alto Desaguadero**

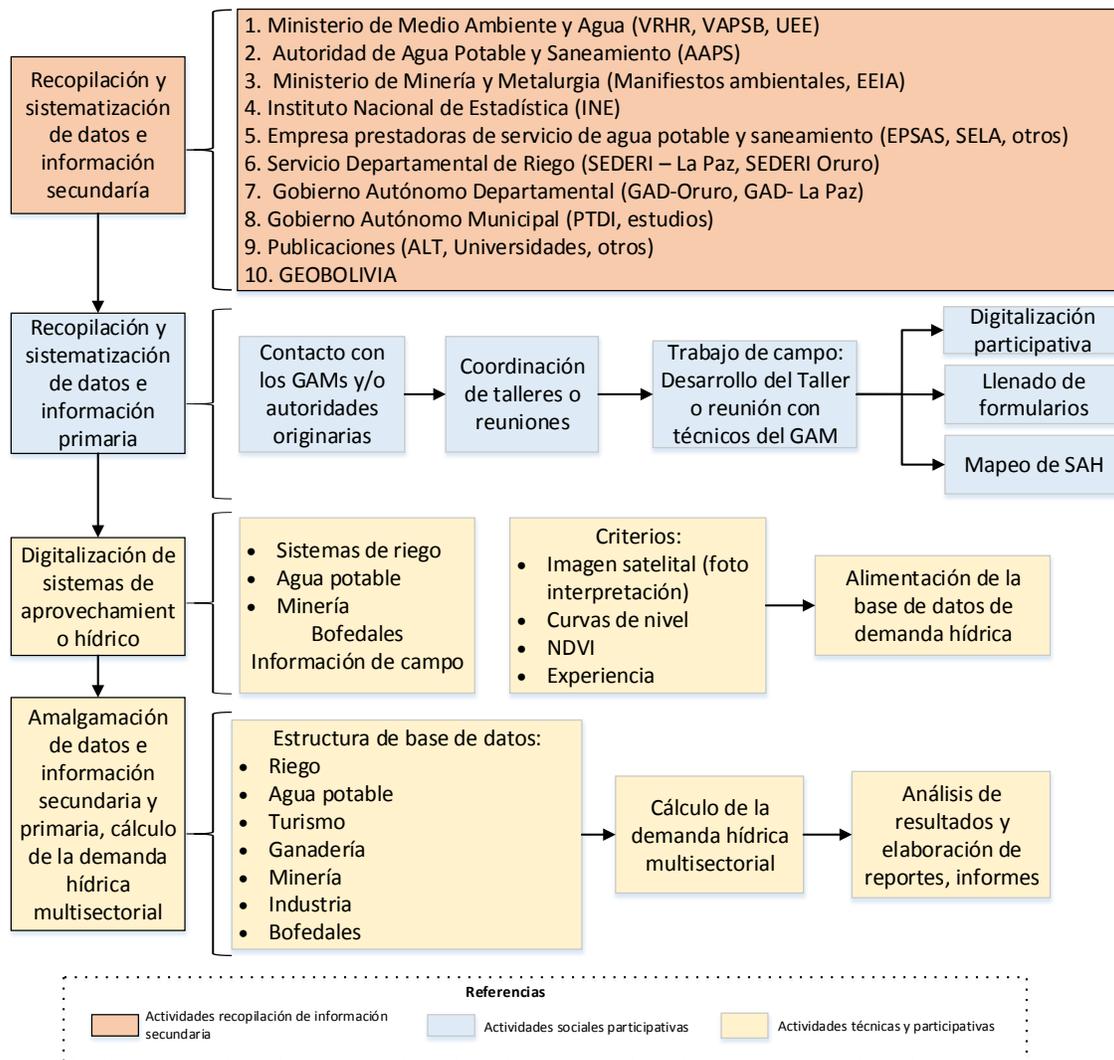


## Amalgamación de la información primaria y secundaria.

El procesamiento de datos e información primaria incluye el proceso de amalgamación con los datos e información secundaria, a fin de consolidar una misma estructura de base de datos georreferenciada y tabular.

En la siguiente figura se ilustran las secuencias de los principales procesos y actividades de gabinete y de campo.

**Figura 4. Principales procesos de campo y gabinete**



## **Determinación de la demanda hídrica multisectorial**

Inicialmente fue propuesta una metodología para la estimación de la demanda hídrica por diferentes usuarios sectoriales: para consumo humano, turismo, riego, ganadería, minería, industria, bofedales. El sector de acuicultura fue considerado como usuario no consuntivo.

La demanda de agua para consumo humano fue determinada a partir de la cantidad de habitantes del censo nacionales de población y vivienda del año 2012, adoptando el criterio de dotaciones de agua establecidas en la Norma Boliviana NB-689, las condiciones del servicio de saneamiento y los hábitos de consumo en centros poblados con diferentes características.

La demanda de agua del sector industrial fue determinada a partir de la información de extracción de agua, reportada a la Autoridad de Agua Potable y Saneamiento – AAPS, siendo la entidad competente de otorgar licencias de explotación de fuentes de agua para el sector. El crecimiento del consumo se ha asumido igual al crecimiento del sector industrial en los departamentos correspondientes, sobre la base del crecimiento del PIB del sector, según reportado por la Cámara Nacional de Industrias.

La estimación de la demanda de agua para el sector ganadería, fue efectuada a partir de la información del Censo Nacional Agropecuario de 2013. Con base en las encuestas realizadas en los municipios, en la que participaron diversas comunidades, se logró establecer las tasas de crecimiento según tipo de ganado, para 14 municipios representativos del área de estudio. Estas tasas de crecimiento fueron generalizadas para los demás municipios con la finalidad de estimar la población de ganado actual y futura. La demanda de agua se ha estimado considerando el consumo per cápita de los diferentes tipos de ganado.

La demanda de agua para riego fue estimada a partir de las áreas de riego, registrados por los Servicios Departamentales de Riego, complementados con digitalizaciones sobre imágenes satelitales y relevamientos de campo. La metodología de cálculo de demanda corresponde a los procedimientos recomendados por la FAO. La proyección de la demanda hacia el futuro comprende el crecimiento de la frontera agrícola de acuerdo con las metas nacionales y regionales de desarrollo, consideraciones de cambio climático y perspectivas de tecnificación del riego.

La demanda del agua del sector minero se ha determinado a partir de los datos de consumo de agua y fuentes de agua, reportados en los manifiestos ambientales de las actividades mineras en el área del TDPS. La proyección del consumo minero se ha determinado adoptando el criterio de crecimiento del sector, asumiendo que el crecimiento del consumo de agua sigue el mismo comportamiento que el crecimiento de PIB del sector minería.

## **Análisis de resultados y elaboración de reportes de demanda hídrica multisectorial**

Los resultados fueron sistematizados y analizados, con base en el diseño y elaboración de mapas temáticos, tablas explicativas, figuras ilustrativas. Se ha empleado los criterios de análisis en tres dimensiones: sectorial, espacial y temporal.

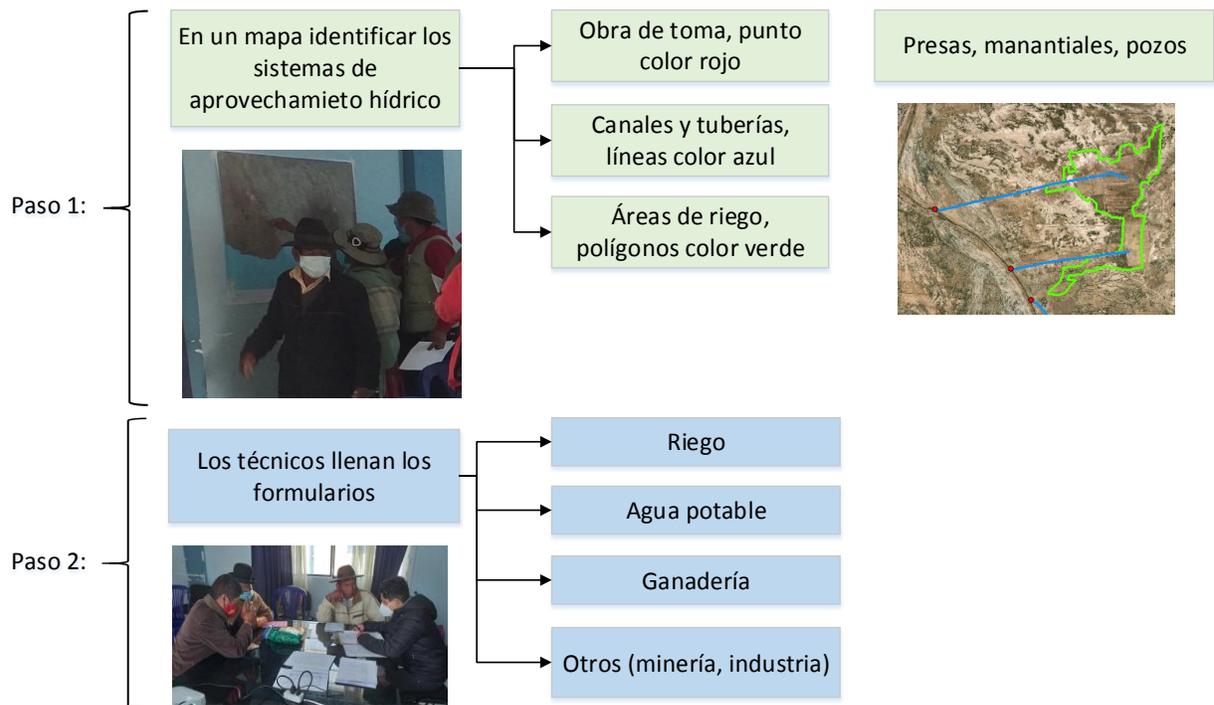
### 3.3 Actividades en campo

#### Recopilación y sistematización de datos e información primaria

Para la recopilación de información primaria, previamente se ha remitido notas de solicitud de información y apoyo para desarrollar los talleres, tanto a los gobiernos municipales como a las autoridades sindicales y originarias; se ha coordinado talleres participativos y visitas de campo con entidades municipales y organizaciones sociales. Según el contexto del momento se dio a través de las reuniones con los técnicos de los gobiernos municipales y/o talleres con la participación de los líderes comunales y sus bases.

En la siguiente figura se ilustra los procesos participativos de talleres en los cabildos, congresos, así como el llenado de formularios con el apoyo del equipo técnico de campo.

**Figura 5. Desarrollo del trabajo de campo**



#### Talleres con comunidades

En la siguiente figura se ilustran los talleres participativos en las comunidades, aprovechando sus reuniones comunales, cabildos por centrales agrarias y encuentros a nivel provincial.

**Figura 6. Talleres participativos**



Municipio de Papel Pampa



Municipio de Sica Sica



Digitalización Municipio de Papel Pampa



Municipio de San Andrés de Machaca



Municipio de Huatajata



Municipio de San Andrés de Machaca

## Reuniones con técnicos municipales

En la siguiente figura se ilustran las reuniones con los técnicos de campo.

**Figura 7. Reuniones participativas**



Municipio de Viacha



Municipio de Corocoro

## Visitas de campo

En la siguiente figura se ilustran las vistas técnicas de campo.

**Figura 8. Visitas de campo**



Sistema de bombeo para agua potable



Recorrido por la fuente de agua

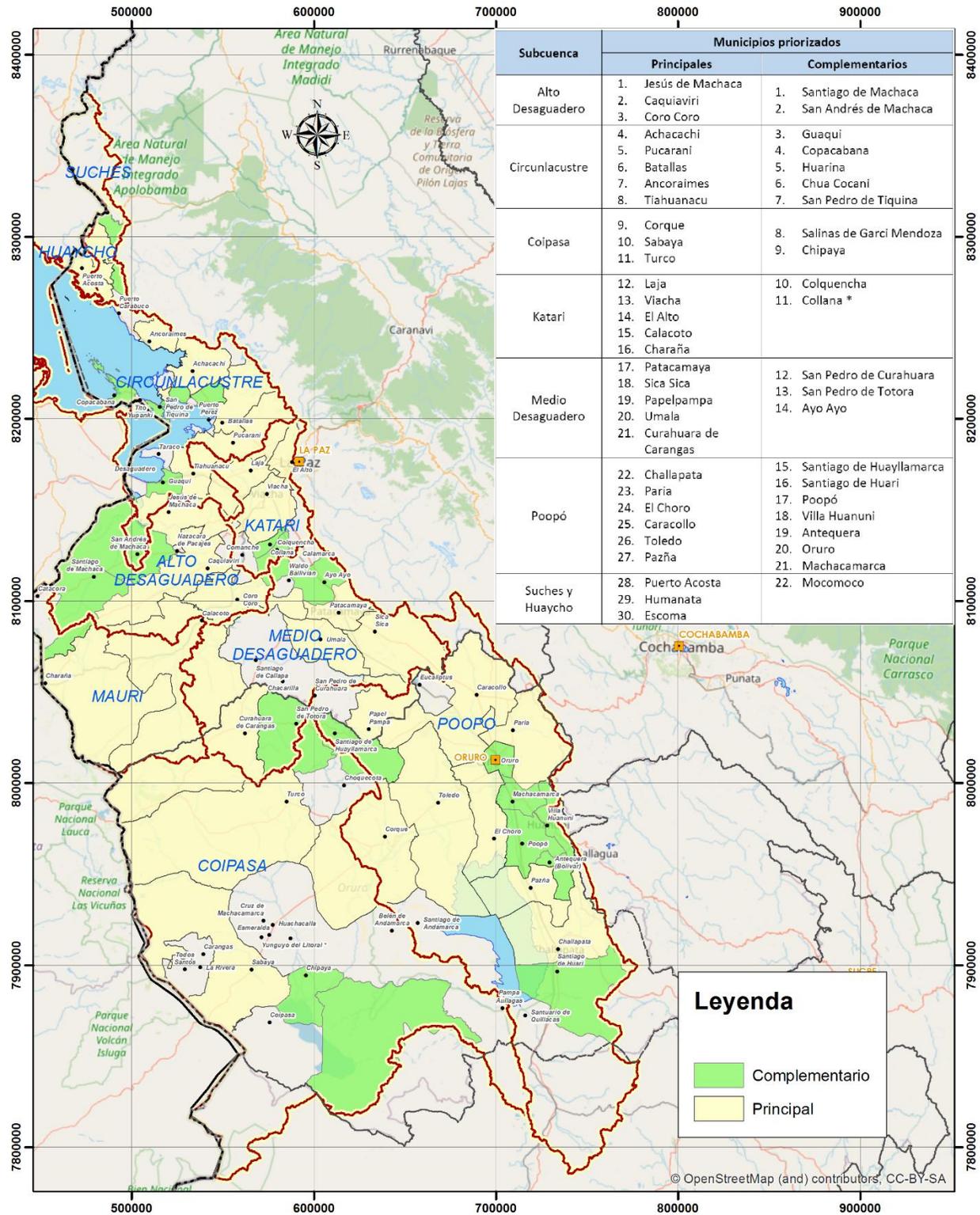


Caceta de bombeo para riego



Tanque elevado

Figura 9. Municipios priorizados para el relevamiento de datos de campo



### **3.4 Priorización de municipios para relevamiento de campo**

De acuerdo con la reunión realizada con la Coordinación BINACIONAL, supervisión del estudio (MMAyA) y equipo técnico del estudio, en el marco del contexto de alerta sanitaria, se acordó el relevamiento de datos de campo de 30 municipios principales los cuales se deberían recabar información de campo, y como complementarios 22 municipios, los cuales serían optativos en el relevamiento de la información de campo.

Para priorizar los municipios se tomó en cuenta los siguientes criterios: el grado la cantidad de sistemas de riego, pozos y comunidades distribuidas por municipio. También se ha tomado en cuenta la representación espacial de los municipios por cuenca y en todo el sistema TDPS. El resultado se presenta en la figura 9.

### **3.5 Estimación de la demanda consumo humano (agua potable)**

#### **3.5.1 Metodología de cálculo**

La demanda de agua para consumo doméstico de una comunidad, centro poblado o ciudad es la suma de las demandas de agua individuales de cada persona o familia. Las mismas dependen de las de las condiciones climáticas, de las condiciones del servicio de saneamiento, y de los hábitos y costumbres de las personas.

La demanda individual de agua debe entenderse como la cantidad de agua que requiere, en promedio, una persona para el uso cotidiano en el hogar, es decir, para la preparación de los alimentos, lavado del menaje, aseo personal, lavado de ropa, aseo del hogar, para el riego de jardines, entre otros, de manera que se garanticen condiciones de salubridad y confort adecuadas, en el marco del vivir bien, haciendo un uso racional del recurso.

El concepto del cálculo de la demanda de agua para consumo doméstico es estándar a nivel mundial, y Bolivia no es la excepción. La norma boliviana NB 689 establece que la demanda de agua promedio diario, o mensual, para consumo doméstico se calcula como el producto de la población por una dotación per-cápita; ésta última corresponde a la demanda individual de agua para un día o un mes.

$$\text{DEMANDA} = \text{POBLACIÓN} \times \text{DOTACIÓN}$$

#### **3.5.1.1 Población**

La población, o número de habitantes de una comunidad centro poblado o ciudad, es variable en el tiempo y puede dividirse en 2 partes:

- a) Población estable
- b) Población flotante

La **población estable** corresponde a aquella que reside permanentemente en el lugar, y que presenta un crecimiento, o decrecimiento, continuos como resultado de la natalidad, mortalidad y la migración. La variación en el tiempo de la población estable se representa a través de la tasa de crecimiento poblacional.

La población estable es medida regularmente (aproximadamente cada 10 años), a través del censo nacional de población y vivienda, a cargo del Instituto Nacional de Estadística INE, en Bolivia. Los censos más recientes se realizaron en 1992, 2001 y 2012.

La **población flotante** se refiere a la poblacional ocasional, que significa un aumento notable y distinto de la población estable (NB 689), por ejemplo, la afluencia turística, viajes de negocios y festividades locales. La población flotante puede presentar un crecimiento en el tiempo, pero también puede variar según la época del año, o presentarse solo en periodos específicos.

En el TDPS, en el lado boliviano, la población flotante debida al turismo tiene mucha significancia en el eje turístico La Paz – Copacabana, en la ciudad de Oruro, en Tiahuanacu y en Sajama, con una importante afluencia de personas, tanto desde el exterior como del interior del país. A requerimiento de los TdRs, la demanda de agua del sector turismo se presenta por separado.

### 3.5.1.2 Crecimiento poblacional y proyección de la población

La población en un cierto periodo, por ejemplo, la población actual, y su proyección hacia el futuro con fines de la gestión pública, se determinan aplicando diferentes métodos de proyección a partir de la información censal.

La norma NB 689 establece 4 métodos para la proyección de la población a partir de la información censal:

- **Método aritmético.** Supone un crecimiento lineal de la población y se puede aplicar a poblaciones pequeñas, hasta 20,000 habitantes (NB 689). La fórmula aplicada en la proyección es la siguiente:

$$P_f = P_0 \left( 1 + \frac{i \times t}{100} \right)$$

Donde:

$P_f$  = Población final

$P_0$  = Población inicial

$i$  = Tasa anual de crecimiento aritmético en porcentaje

$t$  = Tiempo en años entre  $P_0$  y  $P_f$

- **Método geométrico.** Supone un crecimiento geométrico de la población y se aplica a cualquier tamaño de población (NB 689). La fórmula aplicada en la proyección es la siguiente:

$$P_f = P_0 \left(1 + \frac{i}{100}\right)^t$$

Donde:

$i$  = Tasa anual de crecimiento geométrico

- **Método exponencial.** Este método es equivalente al método geométrico, solamente está formulado de diferente manera:

$$P_f = P_0 e^{\left(\frac{i \times t}{100}\right)}$$

Donde:

$i$  = Tasa anual de crecimiento exponencial.

- **Método de la curva logística.** Se asumen que existe un límite superior para la población (saturación). Este método se aplica cuando existe una limitación física para el crecimiento de la población, por ejemplo, cuando se analiza el crecimiento poblacional dentro del territorio de un municipio urbano. La fórmula utilizada en la proyección es la siguiente:

$$P_f = \frac{L}{1 + m \times e^{(a \times t)}}$$

Donde:

$L$  = Valor de saturación de la población

$m, a$  son coeficientes del modelo de crecimiento logístico

$P_1$  = Población en el tiempo  $t_1$ .

$$L = \frac{2}{1 + m \times e^{(a \times t)}}; m = \frac{L - P_0}{P_0}; a = \frac{1}{t_1} \ln \left( \frac{P_0(L - P_1)}{P_1(L - P_0)} \right)$$

En la siguiente tabla se muestran los métodos recomendados para su aplicación en función de la población. Como se puede observar, el método geométrico es aplicable en todos los casos, y, por otra parte, más de un método es aplicable a cualquiera de los casos. Se hace notar que el método exponencial y geométrico es equivalentes y la diferenciación establecida en la norma no existe. Entonces, surge la pregunta de cuál metodología utilizar: aritmético, geométrico o de la curva logística. Para responder esta pregunta, es necesario considerar los siguientes criterios:

**Tabla 1. Aplicación de métodos de cálculo para la proyección de la población**

Método	Población (habitantes)			
	Hasta 5,000	De 5,001 a 20,000	De 20,001 a 100,000	De 5,001 a 100,000
Aritmético	X	X		
Geométrico	X	X	X	X
Exponencial	X (2)	X (2)	X (1)	X
Curva logística				X

(1) Optativo recomendable; (2) Sujeto a justificación

Fuente: NB 689 Tabla 2.1

El método aritmético no se acomoda a los procesos naturales, que son más bien geométricos. Malthus (1798) y otros autores postulan que en ausencia de limitaciones de espacio y de recursos, el crecimiento de la población es geométrico.

El método de la curva logística se aplica cuando existe una limitación física para el crecimiento de la población, por ejemplo, limitaciones de espacio o limitaciones en la disponibilidad de recursos tales como agua y/o alimentos.

Un ejemplo interesante para diferenciar el crecimiento logístico del geométrico es la población de la ciudad de El Alto. Si lo vemos desde una óptica municipal, el municipio de El Alto tiene un territorio limitado. Al sur, este y oeste, el área urbana ha superado los límites del municipio por lo que el crecimiento físico en esas direcciones de la mancha urbana no es posible. Al norte, en cambio, sí tiene posibilidades de crecimiento, pero las condiciones climáticas, gradualmente más desfavorable con el aumento de la altitud, empujan a la población a densificar las áreas ya urbanizadas o a asentarse en territorios de los municipios vecinos. Entonces, para la ciudad de El Alto, es razonable considerar un crecimiento poblacional logístico, desde el punto de vista del territorio del municipio de El Alto. Sin embargo, desde el punto de vista regional: cuenca Katari o Departamento de La Paz, la mancha urbana del área metropolitana de la ciudad de El Alto no tiene limitaciones para su crecimiento, así como ya viene extendiéndose hacia el sur y oeste a los municipios de Pucarani, Laja, Viacha y Achocalla; desde esta óptica el crecimiento de la población es más bien geométrico.

En conclusión, para el estudio de la demanda de agua para consumo en el TDPS y su proyección hacia el futuro, es razonable el empleo del método geométrico de crecimiento poblacional.

Por otra parte, en el TDPS existen muchos municipios con tasa de crecimiento poblacional negativo. En estos casos, y considerando que los gobiernos nacional y subnacional vienen desarrollando políticas para fomentar el desarrollo económico y social en todo el territorio, se adoptará una tasa de crecimiento poblacional geométrica de 0.5% (NB 689).

### **3.5.1.3 Dotación y demanda de agua**

La NB 689 establece que la dotación mínima a adoptarse en el proyecto de un sistema de agua potable debe ser suficiente para satisfacer los requerimientos de consumo doméstico, comercial, industrial y público, considerando las pérdidas en el sistema de abastecimiento. Entre otros factores, la dotación dependerá también de la capacidad de la fuente de agua.

En el presente estudio, el objetivo es determinar la demanda de agua y su proyección. La demanda de agua, a diferencia de la dotación, no considera las limitaciones en la capacidad de la fuente de agua, de modo que adoptar una dotación menor a la demanda implica tener una demanda insatisfecha. La demanda depende de los siguientes factores:

- Clima.
- Aspectos económicos y socio-culturales.
- Tipo de consumo (medido, irrestricto y uso de limitadores de caudal).
- Servicio de alcantarillado.
- Condiciones de operación y mantenimiento.
- Pérdidas en el sistema.

La NB 689 y el Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias (MMAyA, 2011) establecen las siguientes dotaciones máximas (sin restricción de capacidad de la fuente de agua) para la región del Altiplano (3600 a 4000 msnm). Las mismas serán utilizadas para el cálculo de la demanda de agua.

**Tabla 2. Dotaciones máximas de agua para la región del Altiplano**

Tamaño de la localidad	Dotación/demanda máxima (L/hab/día)	
	Con alcantarillado	Sin alcantarillado
Rural menor Hasta 500 habitantes	50	40
Rural mayor 501 hasta 2,000 habitantes	70	40
Ciudades menores 2,001 a 10,000 habitantes	80	-
Ciudades intermedias 10,001 a 100,000 habitantes	100	-
Ciudades mayores 100,001 a 500,000 habitantes	100	-
Ciudades metropolitanas Mayor igual a 500,001 habitantes	120	-

Fuente: NB 689 y el Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias (MMAyA, 2011)

### 3.5.2 Fuentes de información y la base de datos

La información utilizada para la estimación de la demanda de agua para consumo doméstico, así como de la infraestructura de abastecimiento existente, ha sido obtenida de diversas fuentes de información, como ser:

- **Instituto Nacional de Estadística INE, Censos Nacionales de Población y vivienda 2001 y 2012**

La información de población generada por el INE constituye la base para el cálculo de la demanda hídrica para consumo doméstico. A partir de los datos de población y tasas de crecimiento generados por el INE se determina la población actual y futura del TDPS – Bolivia, a partir de la cual se calcula la demanda de agua para consumo doméstico.

El tamaño de población junto con las características de dispersión o concentración, y los datos de acceso a alcantarillado sanitario permiten asignar la dotación de agua que es el segundo factor que se requiere para la estimación de la demanda.

- **Empresas prestadoras de servicios de agua potable y saneamiento**

Proporcionan información sobre la infraestructura de abastecimiento de agua actual para la base de datos.

- **Autoridad de Agua Potable y Saneamiento (AAPS)**

Tiene por mandato llevar un registro de los sistemas de agua potable y saneamiento básico, y sus correspondientes fuentes de agua, así como otorgar autorizaciones para el aprovechamiento de éstas. Se obtuvo información sobre infraestructura de abastecimiento de agua, así como acceso a alcantarillado sanitario.

- **Sistema de información agua y saneamiento rural (SIASAR)**

Incluye datos de las obras de toma y fuentes de agua: ubicación, tipo, caudal, entre otros, información de los tanques de almacenamiento: ubicación, tipo, e información de la aducción: longitud, material, diámetro, para comunidades en 23 municipios del TDPS

- **Plan maestro de agua potable y saneamiento básico (El Alto, Oruro)**

Proporcionan información sobre demanda de agua e infraestructura de abastecimiento de las ciudades de Oruro, El Alto, Laja, Pucarani y Viacha, así como proyecciones para 30 años

- **Proyectos**

Contienen información de infraestructura de los sistemas de abastecimiento de algunas comunidades. Los proyectos consultados incluyen: 56 proyectos de agua potable en el departamento de Oruro, del año 2001, Proyecto Multipropósito de riego y agua potable para los municipios de Batallas, Pucarani y El Alto, Proyecto de agua potable Alqa Quta – Pucarani.

- **Trabajo de campo**

Se obtuvo información referencial sobre población y sobre la infraestructura de abastecimiento a través de talleres con autoridades y técnicos municipales. La información obtenida es aproximada, y por lo tanto de carácter referencial, puesto que los informantes no tenían datos exactos para proporcionar.

- **Imágenes satelitales**

Permitieron localizar la infraestructura de abastecimiento de los centros poblados, complementando la información obtenida de otras fuentes de información.

### 3.6 Estimación de la demanda actividad agrícola (riego)

El sector riego es el mayor usuario de agua en el sector boliviano del sistema TDPS. En las partes altas de las cuencas, por encima de los 4000 msnm es frecuente el riego de los pastos naturales con la finalidad de potenciarlos para la alimentación del ganado camélido. Entre los 3800 y 4000 msnm, la agricultura se centra en la producción de papa, cebada, oca y haba. En los pies de monte, y valles abrigados a una altura aproximada de 3800 msnm se opta por cultivos de cebolla, zanahoria, habas y papa. En las zonas de llanura del altiplano, donde existe agua suficiente, se opta por productos de mayor valor como la alfalfa y la avena, acompañados de papa y cebada, los primeros orientados a solventar el requerimiento de forraje para el ganado vacuno. En el sector sur de la cuenca, es importante el cultivo de quinua.

#### 3.6.1 Metodología de cálculo

Las bases científicas del proceso de evapotranspiración fueron establecidas por Penman (1948), con la formulación de la ecuación de enfoque combinado para la evaporación libre y Monteith (1965), con la inclusión de la conductividad del follaje en la ecuación combinada para el cálculo de la evapotranspiración potencial de un complejo suelo – cultivo.

En 1990, Allen et al publican el Artículo No 56 de Riego y Drenaje de la FAO titulado “Evapotranspiración de cultivo - Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos” el cual documenta la metodología para el cálculo de la evapotranspiración potencial y real de un cultivo a partir de información meteorológica y coeficientes de cultivo. El efecto de las condiciones meteorológicas está incluido en la evapotranspiración de referencia  $ET_0$  y el efecto del cultivo es tomado en cuenta a través del coeficiente de cultivo  $Kc$ . La demanda bruta de agua del cultivo se calcula como, considerando del área del cultivo:

$$\text{DEMANDA}_{\text{bruta}} = Kc \times ET_0 \times \text{AREA}$$

Parte de esta demanda es suplida por la lluvia, de manera que la demanda neta de agua requerida para el cultivo se obtiene como la diferencia entre la demanda neta y la precipitación efectiva; naturalmente, el agua suplementaria debe ser provista mediante riego, luego:

$$\text{REQUERIMIENTO}_{\text{RIEGO}} = (Kc \times ET_0 - P_{\text{Ef}}) \times A$$

Por otra parte, la infraestructura de riego, desde la captación, pasando por la conducción y distribución y terminando en la aplicación, presenta una serie de pérdidas que deben ser consideradas para establecer la demanda de riego en la fuente de agua. Así la demanda total de riego se determina como:

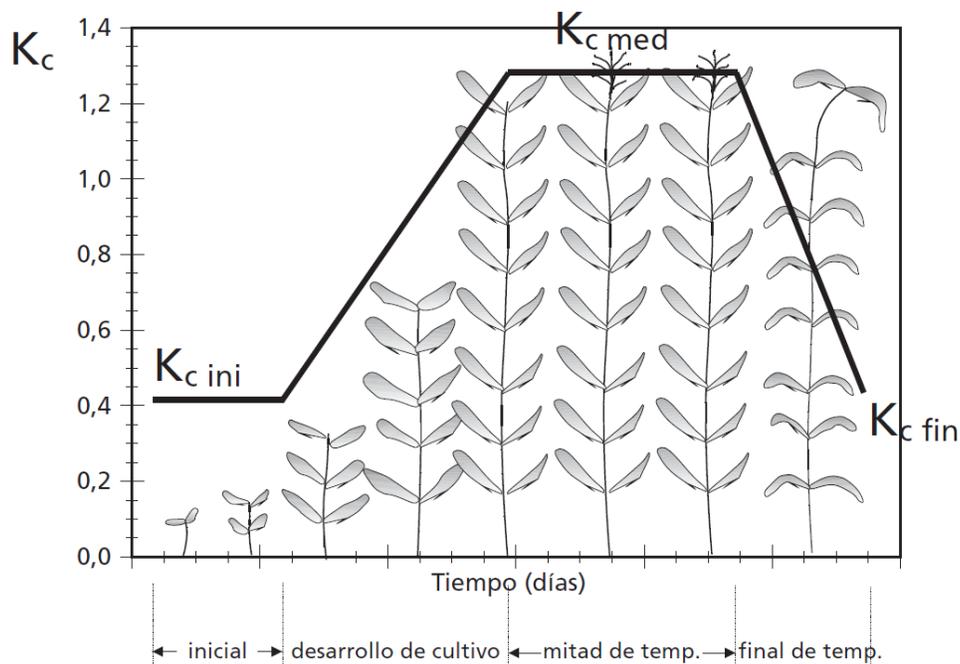
$$\text{DEMANDA}_{\text{TOTAL RIEGO}} = (\text{Kc} \times \text{ET}_0 - \text{P}_{\text{Ef}}) \times \text{A}/e$$

Donde  $e$  es la eficiencia total del sistema de riego, que puede llegar a tener valores tan bajos como 10%, para sistemas de riego rústicos, hasta 45%-50% con riego tecnificado.

### 3.6.1.1 Coeficiente de cultivo $K_c$

A medida que el cultivo se desarrolla, tanto la cubierta vegetal como la altura del cultivo y el área foliar variarán progresivamente. La evapotranspiración, y por lo tanto el valor de  $K_c$  también, varían durante las distintas etapas de desarrollo del cultivo, el mismo que puede ser dividido en cuatro etapas: inicial, de desarrollo, de mediados de temporada y de final de temporada (Allen et al, 1998), ver la siguiente figura:

**Figura 10. Curva generalizada del coeficiente del cultivo, para procedimiento del coeficiente único del cultivo**



Fuente: Allen et al, 1998

La etapa inicial está comprendida entre la fecha de siembra y el momento que el cultivo alcanza aproximadamente el 10% de cobertura del suelo. La longitud de la etapa inicial depende en gran medida del tipo de cultivo, la variedad de este, la fecha de siembra y del clima. El final de la etapa inicial ocurre cuando la vegetación verde cubre aproximadamente un 10% de la superficie del suelo. Para cultivos permanentes, la fecha de siembra es reemplazada por el momento en que

aparecen las primeras hojas (Allen et al, 1998). Durante el período inicial el área foliar es pequeña y la evapotranspiración ocurre principalmente como evaporación en el suelo (Allen et al, 1998).

La etapa de desarrollo del cultivo está comprendida desde el momento en que la cobertura del suelo es de un 10% hasta el momento de alcanzar la cobertura efectiva completa. Para una gran variedad de cultivos, el estado de cobertura completa ocurre al inicio de la floración (Allen et al, 1998). A medida que el cultivo se desarrolla y sombrea cada vez más el suelo, la evaporación se verá cada vez más restringida y la transpiración gradualmente se convertirá en el proceso más importante.

La etapa de mediados de temporada comprende el período de tiempo entre la cobertura completa hasta el comienzo de la madurez, mismo que se manifiesta con amarillamiento o senescencia de las hojas, caída de las hojas, o la aparición del color marrón en el fruto.

La etapa de mediados de temporada representa la etapa más larga para los cultivos permanentes y para una gran variedad de cultivos anuales, siendo relativamente corta para los cultivos hortícolas que son cosechados frescos para aprovechar su vegetación verde. Durante la etapa de mediados de temporada, el coeficiente  $K_c$  alcanza su valor máximo. El valor de  $K_c$  en esta etapa es relativamente constante para la mayoría de los cultivos y prácticas culturales. (Allen et al, 1998).

La etapa final o tardía de crecimiento comprende el período entre el comienzo de la madurez hasta el momento de la cosecha o la completa senescencia. Se asume que el cálculo de los valores de  $K_c$  y  $E_{Tc}$  finaliza cuando el cultivo es cosechado, secado al natural, alcanza la completa senescencia o experimenta la caída de las hojas. El valor de  $K_c$  al finalizar la etapa final refleja el efecto de las prácticas de cultivo y el manejo del agua.

La bibliografía proporciona coeficientes de cultivo de etapa inicial, de mediados de temporada y final para diferentes tipos de cultivo para una textura media del suelo y prácticas de cultivo y manejo de agua estándar. Asimismo, se proporcionan las duraciones típicas de cada etapa del desarrollo de diferentes tipos de cultivos.

En la Tabla 3 se presentan los coeficientes de cultivo  $k_c$  para los productos agrícolas identificados en el área del TDPS a partir del trabajo de relevamiento de campo de la revisión de los PTDs municipales.

**Tabla 3. Coeficientes de cultivo  $K_c$  para cultivos identificados en el TDPS**

Cultivo	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Alfalfa	0.7	1.15	0.4	0.7	1.15	0.4	0.77	0	0	0	0	0.4
Avena	1.15	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0.35	0.75
Cañahua	0.85	1	0.7	0.4	0	0	0	0	0	0.4	0.7	0.75
Cebada	1.15	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0.37	0.76
Cebolla	1.16	1.14	0.94	0	0	0	0	0	0	1.15	1.16	1.38
Haba	0.81	0	0	0	0	0	0	0	0.48	0.57	0.92	0.86
Papa	1.3	1.3	0.95	0.6	0	0	0	0	0	0.2	0.5	1.02

Pastizal	0.85	0.8	0.75	0.7	0.5	0.3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7
Quinua	0.85	1	0.7	0.4	0	0	0	0	0	0.4	0.7	0.75
Zanahoria	0	0	0	0	0	0	0	0.41	0.68	0.82	0.97	0.69

Fuente: Elaboración propia

Las cédulas de cultivo de cada sistema de riego corresponden, en primera instancia, a la información proporcionada por los usuarios a través de los formularios de campo, y en segunda instancia, cuando no se contaba con la información, a las cédulas de cultivo reportadas en los PTDI's o de sistemas de riego vecinos para los cuales se cuenta con la información.

### 3.6.1.2 Cédulas de cultivo y calendario agrícola

Las cédulas de cultivo son necesarias para el cálculo de la demanda de agua para riego, y esta información no está disponible ni en los registros de riego de los SEDERI's, ni en el inventario de sistemas de riego, ni en las bases de datos de proyectos de riego.

Para la elaboración del presente estudio, la información referente a las cédulas de cultivo y calendario agrícola se obtuvo a partir de las siguientes fuentes de información:

- Planes Territoriales de Desarrollo Integral (PTDI) de los Gobiernos Municipales
- Formularios de campo llenados durante el trabajo de campo
- Censo Nacional Agropecuario (INE, 2013)

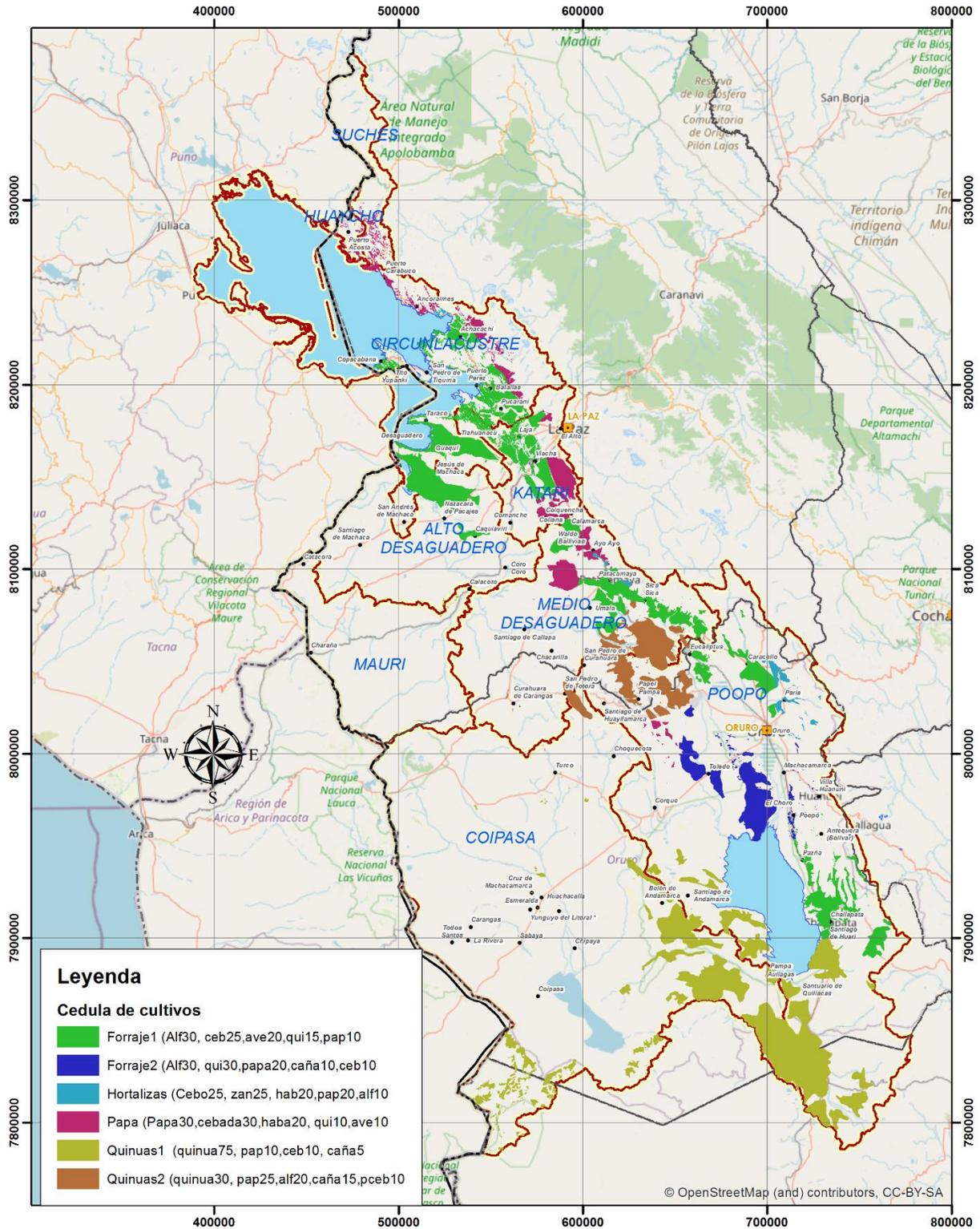
La elaboración del mapa de cédulas de cultivos ha comprendido los siguientes pasos:

- Elaboración de mapas de áreas de cultivo
- Comparación de cédulas de cultivo y calendarios agrícolas reportadas en los PTDI's con cédulas de cultivo reportadas en los formularios de campo y en el Censo Nacional Agropecuario 2013.
- Generalización de cédulas de cultivo para diferentes regiones, según condiciones agroecológicas y costumbres de los usuarios.

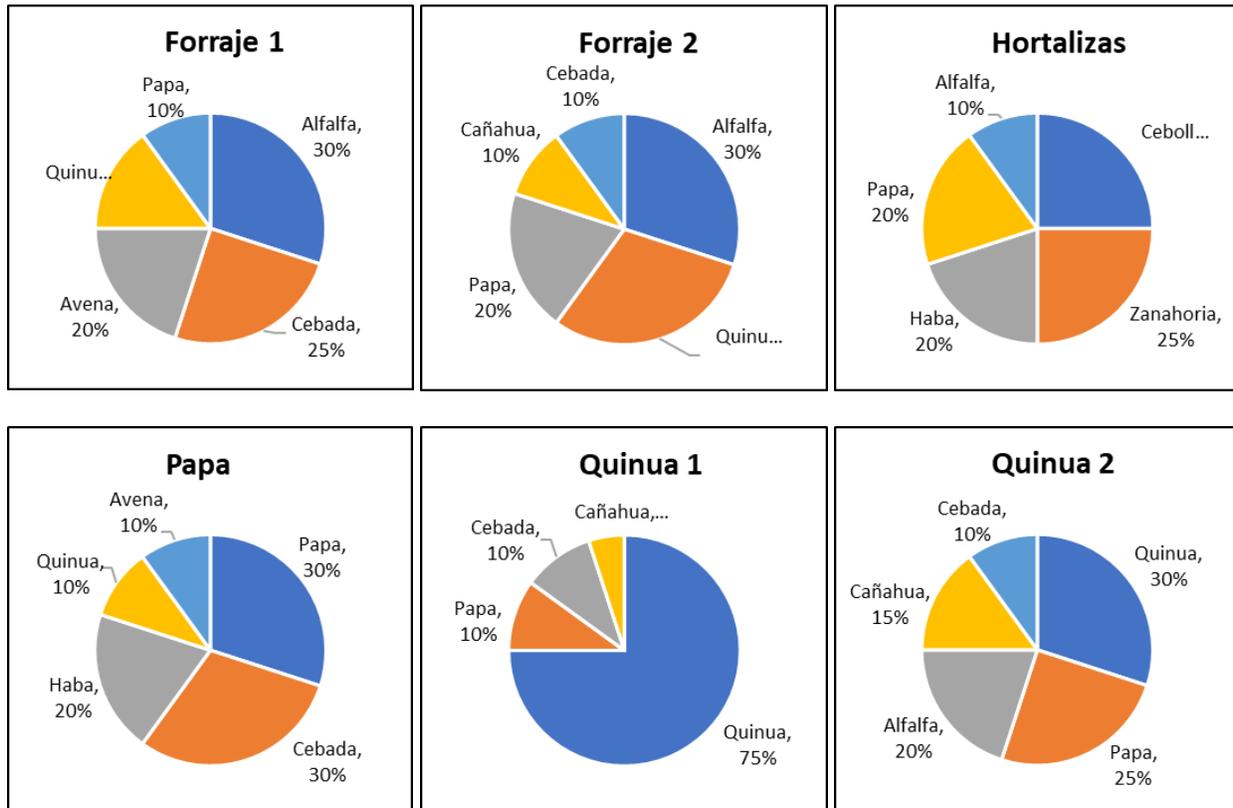
En la Figura 11 se muestra el mapa de cédulas de cultivo elaborado en el marco del presente estudio, y en la Figura 12 se muestra la distribución porcentual de cultivos en cada una de las cédulas de cultivo definidas para el sector boliviano del TDPS.

En la Tabla 4 se presenta el calendario agrícola para los principales cultivos en el sector boliviano del TDPS. Se puede observar que entre mayo y agosto la actividad agrícola es baja, lo cual se debe a las condiciones climáticas adversas de la región, con bajas temperaturas y helada permanentes en esa época del año.

Figura 11. Cédulas de cultivo



**Figura 12. Cédulas de cultivo tipo generalizadas para el TDPS-Bolivia**



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4. Calendario agrícola diferentes cultivos para el sector boliviano del TDPS**

Cultivo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Alfalfa							C					S
Avena		C									S	
Cañahua				C						S		
Cebada		C									S	
Cebolla			C							S		
Haba	C								S			
Papa				C						S		
Pastizal						C	S					
Quinua				C						S		
Zanahoria								S				C

Fuente: Elaborado a partir de PTDis Municipales y entrevistas de campo.

### 3.6.1.3 Evapotranspiración potencial de referencia $ET_0$

Existe una variedad de métodos para el cálculo de la evapotranspiración potencial de referencia  $ET_0$ , sin embargo, estudios realizados en Estados Unidos y Europa a finales de los 80, revelaron que los dos métodos que reportan los mejores resultados son la fórmula de Penman-Monteith (1965) y la fórmula Hargreaves (1985), en ese orden (citado en Allen et al, 1998). La fórmula de Penman-Monteith, exigente en cuanto a información meteorológica, ha sido reportada por ambos equipos de investigación (ASCE y europeo) como aquella que produce resultados relativamente exactos y consistentes tanto en climas áridos como en húmedos. El método de Hargreaves (1985) basado en la temperatura del aire que, a excepción de otros métodos similares, ha producido resultados razonables de  $ET_0$  con cierta validez global.

La FAO, basada en el mejor comportamiento y consistencia del método Penman-Monteith en el ámbito global, considera que este es el único recomendable como método estándar de cálculo. Esto se debe a que existe una elevada probabilidad de que este método prediga correctamente los valores de  $ET_0$  en una amplia gama geográfica y climática y cuenta con previsiones para su uso en situaciones de falta de datos (Allen et al, 1998).

### 3.6.1.4 Factores meteorológicos que determinan la ET

Los factores meteorológicos que determinan la evapotranspiración son los componentes del tiempo que proporcionan energía para la vaporización y extraen vapor de agua de una superficie evaporante. Los principales parámetros meteorológicos que se deben considerar se describen a continuación.

#### Radiación solar

El proceso de la evapotranspiración está determinado, por una parte, por la cantidad de energía disponible para evaporar el agua. La radiación solar es la más importante fuente de energía en el planeta. La cantidad potencial de radiación que puede llegar a una superficie evaporante viene determinada por su localización (latitud) y época del año. La radiación solar real que alcanza la superficie evaporante depende de la turbidez de la atmósfera y de la presencia de nubes que reflejan y absorben cantidades importantes de radiación. Cuando se determina el efecto de la radiación solar en la evapotranspiración, se debe también considerar que no toda la energía disponible se utiliza para evaporar el agua. Parte de la energía solar se utiliza también para calentar la atmósfera y el suelo (Allen et al, 1998)

#### Temperatura del aire

La radiación solar absorbida por la atmósfera y el calor emitido por la tierra elevan la temperatura del aire. El calor sensible del aire circundante transfiere energía al cultivo y entonces ejerce un cierto control en la tasa de evapotranspiración. En un día soleado y cálido, la pérdida de agua por evapotranspiración será mayor que en un día nublado y fresco.

## Humedad del aire

Si bien el aporte de energía del sol y del aire circundante es la fuerza impulsora principal para la evaporación del agua, la diferencia entre la presión de vapor de agua en la superficie evapotranspirante y el aire circundante es el factor determinante para la remoción de vapor. Cuando la humedad es elevada, como el aire está ya cerca de saturación y puede absorber menos agua y, por el contrario, cuando está seco, podrá absorber importantes cantidades de agua, por lo tanto, la tasa de evapotranspiración es más alta en regiones húmedas comparado con las regiones áridas.

## Velocidad del viento

El proceso de remoción de vapor depende en alto grado del viento y de la turbulencia del aire, los cuales transfieren grandes cantidades de aire hacia la superficie evaporante. Con la evaporación del agua, el aire sobre la superficie evaporante se satura gradualmente con vapor. Si este aire no se substituye continuamente por un aire más seco, disminuye la intensidad de remoción de vapor de agua y la tasa de evapotranspiración disminuye.

### 3.6.1.5 Fórmulas de cálculo

La evapotranspiración potencial de referencia, de acuerdo con la formulación de Penman-Montheit se puede expresar de la siguiente manera (Allen et al., 1998)

$$ET_{Ref} = 3.5265 \times 10^{-2} \frac{s \times R_N + c_p \rho_a (e_a - e_d) / r_a}{s + \gamma (1 + r_c / r_a)}$$

donde  $3.5265 \times 10^{-2}$  es un factor de conversión de unidades,  $s$  es la pendiente de la relación temperatura y presión de saturación de vapor de agua en el aire,  $R_N$  es la radiación neta sobre la superficie en  $[MJ/ m^2/día]$ ,  $(e_a - e_d)$  es el déficit de presión de vapor de agua en el aire,  $\rho_a$  es la densidad promedio del aire a presión constante,  $c_p$  es el calor específico del aire,  $\gamma$  es la constante psicrométrica del aire,  $r_c$  es la resistencia de la superficie del terreno y  $r_a$  es la resistencia aerodinámica. En la Tabla 5 se resume el procedimiento y ecuaciones para el cálculo de la evapotranspiración potencial de referencia.

**Tabla 5. Diagrama de cálculo de la evapotranspiración potencial de referencia**

$r_a = \frac{748.8}{U_2}$ <p>Donde: <math>U_2</math> es la velocidad del viento a 2 m sobre el nivel de terreno en km/hr</p>	$e_a = 0.6108 e^{\frac{17.27 \times T_a}{237.3 + T_a}}$ <p>Donde: <math>e_a</math> es la presión real de vapor de agua en el aire y <math>T_a</math> es la temperatura media diaria en °C</p>	$P = 101.3 \left( \frac{293 - 0.0065z}{293} \right)^{5.26}$ <p>Donde: P es la presión atmosférica en KPa y z es la altura en metros sobre el nivel del mar</p>	$R_s = \left( 0.25 + 0.50 \frac{n}{N} \right) R_A$ <p>Donde: <math>R_s</math> es la radiación de onda corta que impacta la superficie del suelo en <math>[MJ/ m^2/día]</math>, <math>\frac{n}{N}</math> es la relación de horas</p>
--	---	--	---

$s = \frac{4098 \times e_a}{(237.3 + T_a)^2}$	$e_d = e_a \frac{RH}{100}$ <p>Donde: <math>e_d</math> es la presión de saturación vapor de agua en el aire y RH es la humedad relativa del ambiente.</p>	$\gamma = 0.665 \times 10^{-3} \times P$	efectivas de asoleamiento (complemento de la nubosidad) y $R_A$ es la radiación solar que llega a la superficie exterior de la atmósfera en [MJ/m <sup>2</sup> /día]
$R_{nL} = 5.6745 \times 10^{-8} (273 + T_a)^4 (0.34 - 0.139 \sqrt{e_d}) \left( 0.1 + 0.9 \frac{n}{N} \right)$			
$R_N = 0.77 R_S - R_{nL}$			

Fuente: Gonzales & Sullcata, 2010

### 3.6.1.6 Modelación de demanda de riego utilizando el elemento Catchment en WEAP

Esta herramienta trabaja el área de riego como una unidad de cuenca, lo que permite modelar el balance hídrico del complejo suelo-vegetación.

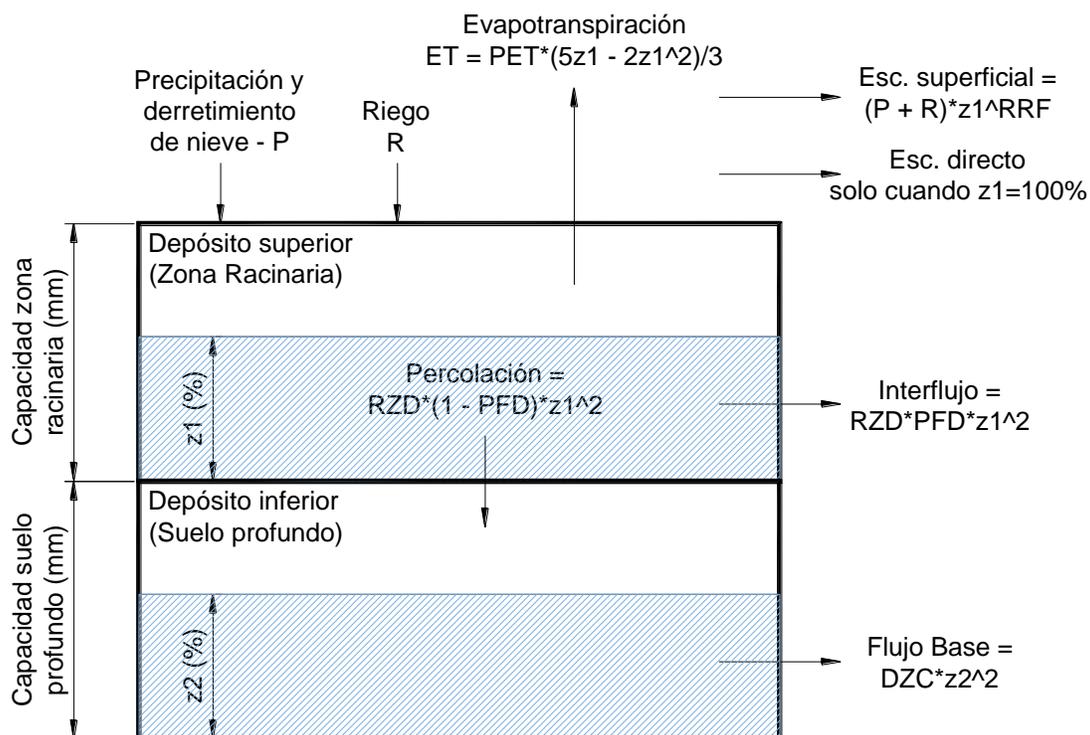
En WEAP, el componente hidrológico puede ser trabajado de tres formas distintas: Método simplificado de precipitación – escurrimiento, modelo basado en humedad del suelo y el método MABIA (diario). (Yates et al, 2005; Sieber & Purkey, 2015)

En el **método simplificado de precipitación – escurrimiento** (Allen et al, 1956) el escurrimiento es calculado como la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración, donde se puede especificar a través de un coeficiente de precipitación efectiva, que una parte de la precipitación no esté disponible para evapotranspiración y vaya directamente como escurrimiento directo.

Este método requiere que la evapotranspiración de referencia sea calculada por separado e introducida como dato; además, el método no evalúa en detalle la interacción suelo-vegetación (Yates et al, 2005), por lo que no se utilizará este método para el cálculo de la demanda de riego en el TDPS.

El **modelo basado en humedad del suelo** (soil moisture model) es un modelo de dos tanques: almacenamiento en la zona racinaria o suelo superior (depósito superior) – y almacenamiento en el suelo profundo (depósito inferior). La evapotranspiración, la percolación y el escurrimiento superficial son función del contenido de humedad del suelo, dando su nombre al modelo (Yates, 1996) (Ver Figura 13). Este es el modelo recomendado para la modelación de balance hídrico de cuencas a nivel mensual.

**Figura 13. Modelo de cuenca basado en humedad del suelo**



Fuente: Yates et al. (2005), Sieber & Purkey (2015)

Como parte de este modelo, el programa calcula la demanda bruta de agua de los cultivos (evapotranspiración potencial) utilizando la fórmula de Penman-Monteith (1965) y el método del coeficiente de cultivo de la FAO (Allen et al, 1998).

Las variables y parámetros del modelo no son de interés para el cálculo de la demanda de riego y deberán ser abordados en el estudio de balance hídrico.

El **método MABIA** realiza una simulación diaria de la transpiración, evaporación y demandas de riego, programación de riego, crecimiento de cultivos y rendimientos, e incluye módulos para determinar la evapotranspiración de referencia y capacidad de retención de agua del suelo. Este método se ha desarrollado a partir del paquete MABIA desarrollado por el Instituto Nacional de Agronomía de Túnez y es una evolución del paquete CropWat. Este método está orientado a la gestión de sistemas de riego en tiempo real, por lo que no será de utilizada en el marco del presente estudio.

Por lo tanto, para el presente trabajo, se trabajará con el modelo basado en humedad del suelo. En la siguiente tabla se detalla la información mínima necesaria para el cálculo de la demanda de riego utilizando WEAP y el método basado en humedad del suelo.

**Tabla 6. Información mínima requerida para modelamiento en WEAP**

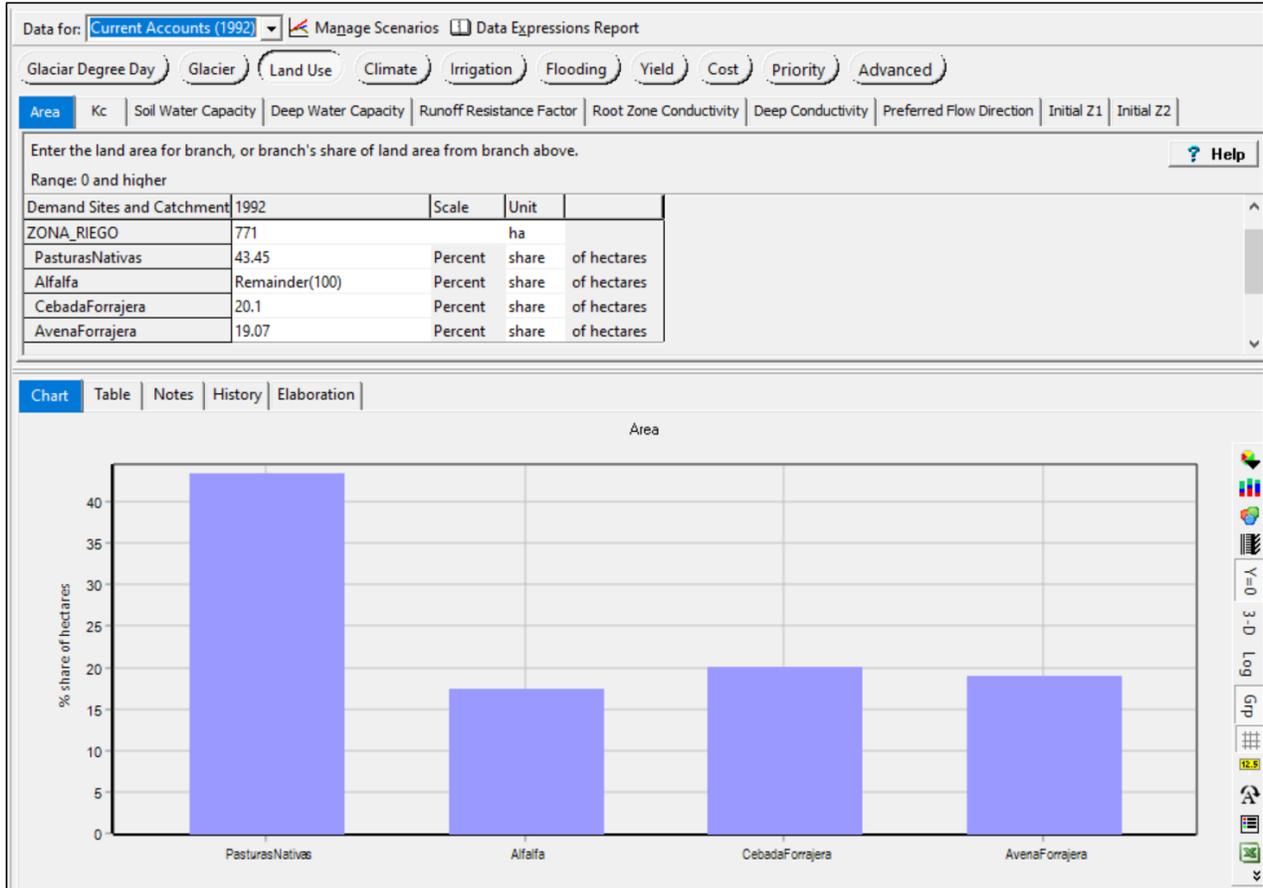
Tipo de información	Variable	Descripción
Información meteorológica	Precipitación	Series mensuales de precipitación
	Temperatura media	Series de temperatura media mensual
	Humedad relativa media	Series de humedad relativa media o promedios mensuales de humedad relativa
	Velocidad de viento	Series de velocidad media del viento o promedios mensuales de velocidad de viento
	Nubosidad	Fracción de tiempo de día y área que el cielo está cubierto por nubes
Información geométrica	Área de riego	Área de riego
	Área de diferentes cultivos	Fracción de cada cultivo en el área de riego (cédula de cultivo)
	Latitud	Sirve para calcular la radiación solar incidente para los procesos de evapotranspiración.
Información sobre Cobertura y uso del suelo	Coefficiente de cultivo	Define la relación entre la evapotranspiración potencial del cultivo con relación a la evapotranspiración potencial de referencia

Fuente: Elaboración propia a partir de Sieber & Purkey 2015

En la siguiente figura se muestra la ventana de datos para el área de cultivo. Las secciones que se necesita llenar para el cálculo de la demanda de riego son *Land Use* (Uso del suelo), *Climate* (clima) e *Irrigation* (riego). En la sección *Advanced* (Avanzado) se debe especificar el empleo del método basado en humedad del suelo (Soil moisture model).

En la sección *Land Use*, en la pestaña de *Área*, se define el área de la zona de riego y los cultivos que la componen y la fracción del área que ocupa cada uno. En la pestaña *Kc* se especifican los coeficientes de cultivo y su variación mensual para cada cultivo, en función del tiempo de siembra y tiempo de cosecha. El paquete no genera los coeficientes de cultivo, por lo que se puede recurrir al paquete ABRO para este fin. Las demás pestañas corresponden a los parámetros del modelo hidrológico y sus condiciones iniciales. Estos valores no inciden en el cálculo de la demanda bruta de agua del cultivo, por lo que se utilizarán los valores por defecto.

Figura 14. Ventana de datos del área de cultivo (Land Use)

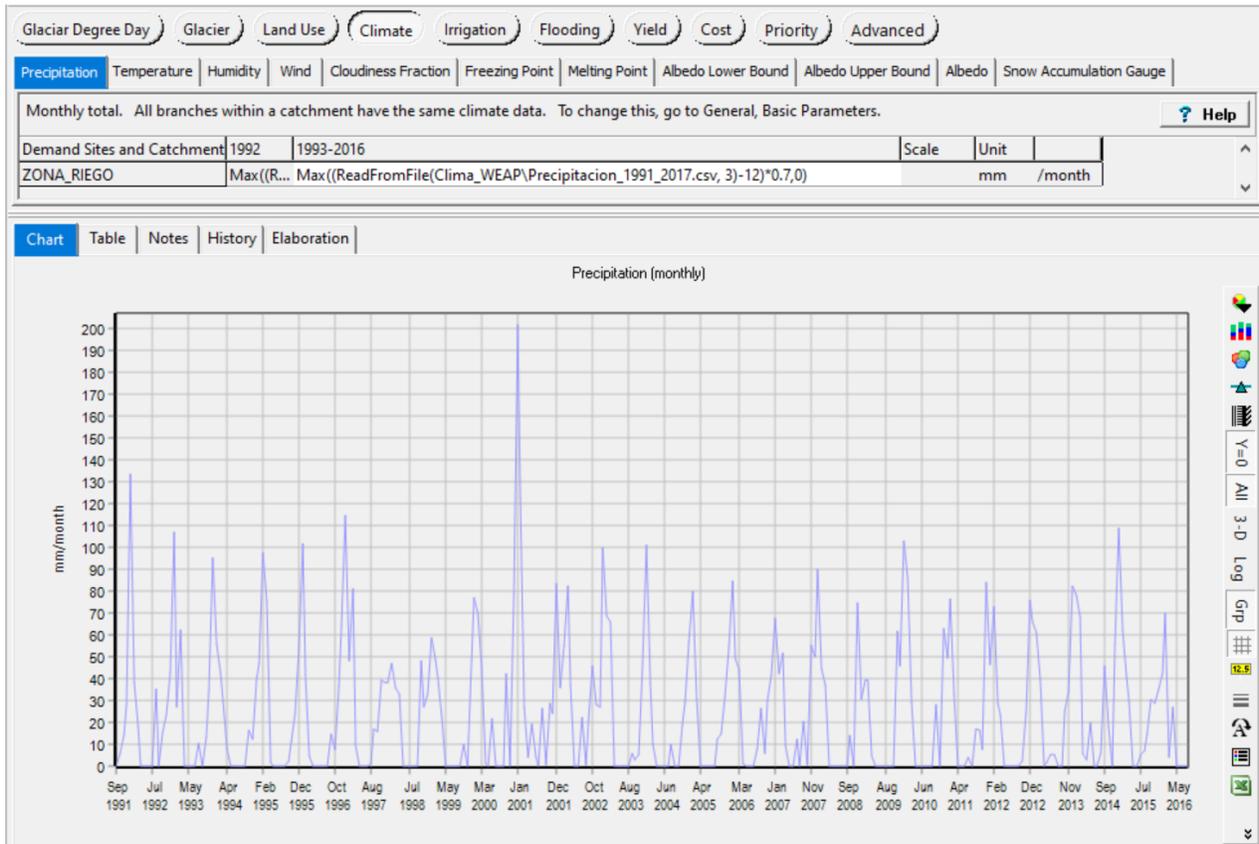


Fuente: Elaboración propia.

En la sección *Climate* se introduce la información meteorológica requerida, por una parte, para el cálculo de la evapotranspiración potencial, y en general, para la modelación hidrológica de la unidad. En la siguiente Figura se muestra la ventana de esta sección. En cada pestaña se debe introducir series de la variable requerida Precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y nubosidad. El resto de las pestañas no se requieren para el cálculo de la evapotranspiración potencial y corresponden a parámetros de control del modelo hidrológico.

En la sección *Irrigation* se debe especificar que todos los cultivos son regados. Cuando se modela una cuenca, se puede especificar que coberturas tienen riego y cuáles no, pero esto no aplica a nuestro caso.

**Figura 15. Ventana para la introducción de datos meteorológicos**



Fuente: Elaboración propia

### 3.6.2 Información hidrometeorológica para la estimación de la demanda de agua de riego

#### 3.6.2.1 Información recopilada

La gestión conjunta del sistema TDPS se viene realizando desde finales del siglo pasado, y en el marco de ésta se han venido realizando diferentes trabajos de monitoreo hidrometeorológico y tratamiento de información hidrometeorológica, los cuales deben actualizarse regularmente. Es así, que existe una línea base para la elaboración del presente estudio, como ser:

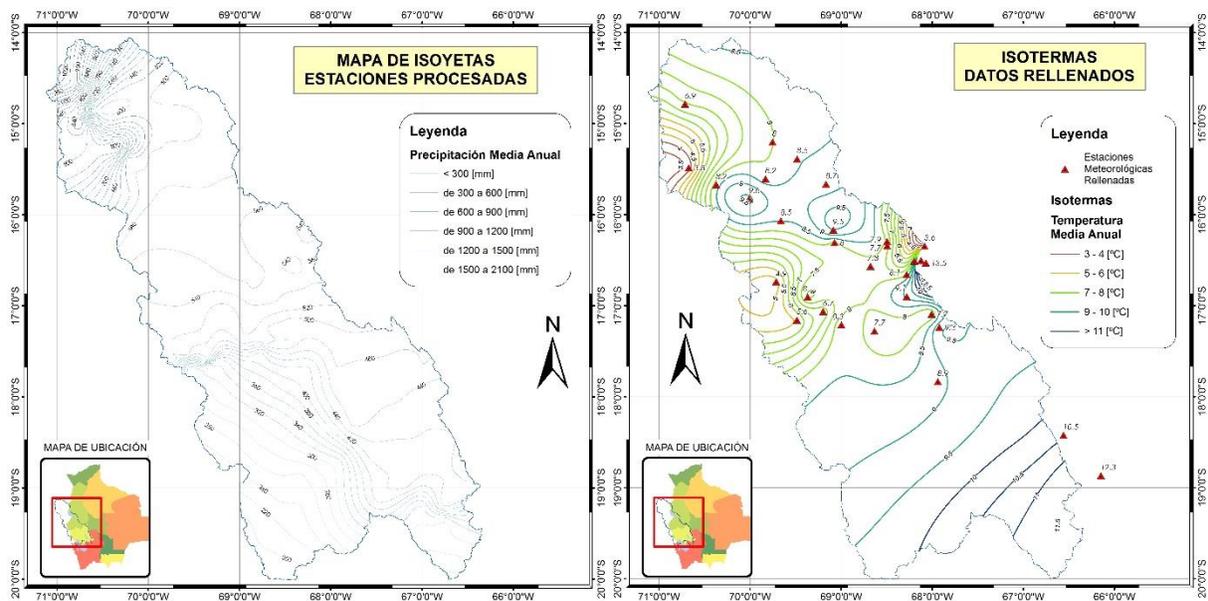
- Estudio de Balance Hídrico TDPS (Olmos, 2016),
- Balance Hídrico Superficial de Bolivia 1980-2016 (SEI, 2018),
- Estudio de Cambio Climático TDPS.

### 3.6.2.2 Análisis de la información recopilada

#### 3.6.2.2.1 Estudio de Balance Hídrico TDPS

Este estudio ha sido desarrollado entre 2016 y 2017, y como parte del mismo se ha realizado el análisis de información de las estaciones meteorológicas locales, cuyos resultados han sido proporcionados en formato de planillas de cálculo y figuras en formato “jpg”. La información proporcionada no incluye información en formato SIG. La información proporcionada incluye las variables de precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento e insolación, y se ilustra en las siguientes figuras.

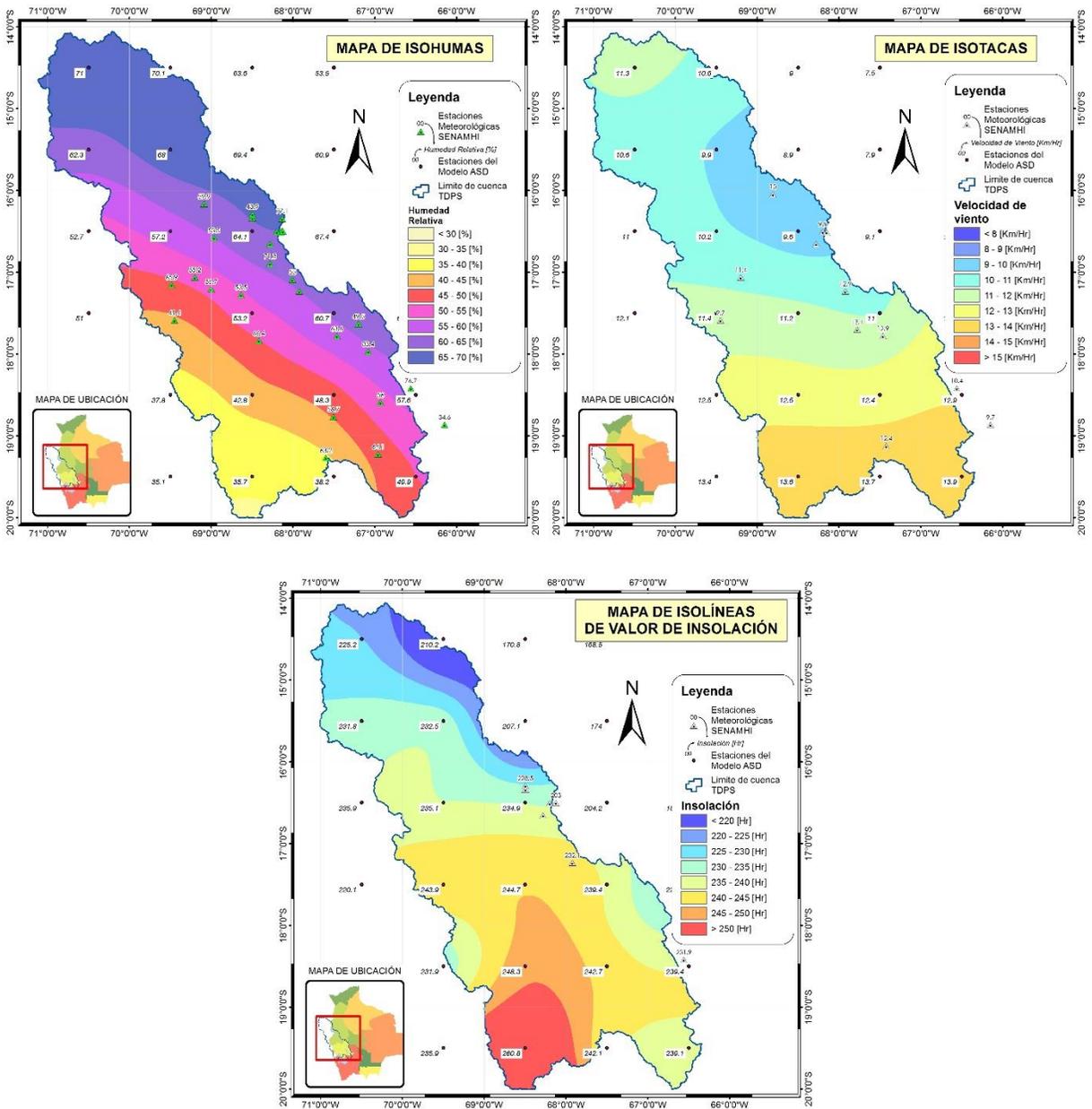
**Figura 16. Precipitación y temperatura media anual – Olmos 2016**



Fuente: Olmos 2016

La información de precipitación comprende 126 estaciones meteorológicas rellenadas y la temperatura 33. La extensión total de las series va desde 1960 hasta 2016.

Figura 17. Humedad relativa, velocidad de viento e insolación



Fuente: Olmos 2016

### 3.6.2.2.2 Balance hídrico Superficial de Bolivia 1980-2016

Entre 2017 y 2018, por encargo del MMayA, el Instituto de Medioambiental de Estocolmo (SEI) con el apoyo de socios académicos nacionales, desarrollan el balance hídrico de Bolivia 1980-2016 (BHB). Este proyecto desarrolló un enfoque estandarizado para la determinación de balances hídricos basados en la plataforma WEAP ([http://gmet.sei-us.org/GMET\\_spanish/](http://gmet.sei-us.org/GMET_spanish/)).

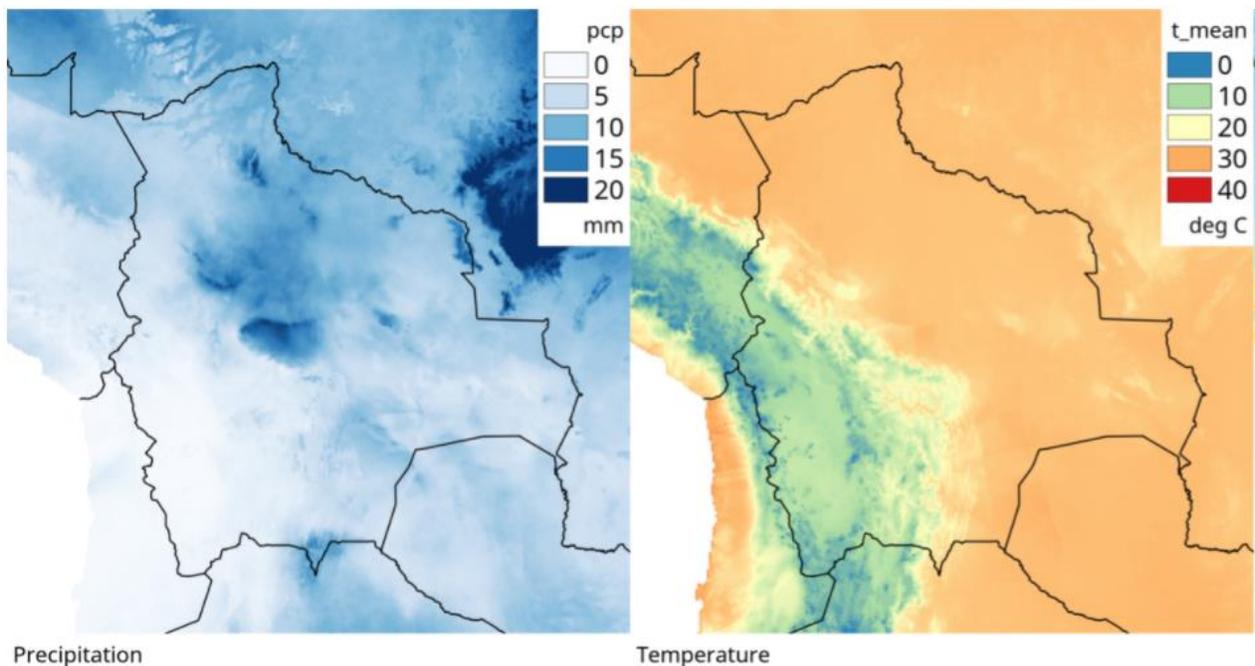
En el marco de la elaboración del BHB, el Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas de Estados Unidos (NCAR) y el SEI desarrollaron grillas (raster) de precipitación y temperatura media a nivel diario, a partir de observaciones de tierra en el periodo 1980-2016, para Bolivia y regiones fronterizas con los países vecinos.

Asimismo, se generaron grillas multianuales de humedad relativa, velocidad de viento y nubosidad que completan la información necesaria para la determinación de la evapotranspiración potencial utilizando la fórmula Penman-Monteith.

El MMAyA, así como los socios académicos del SEI, ha sido fortalecido con las capacidades técnicas necesarias para el uso de la herramienta, de manera que se pueda actualizar continuamente las grillas y el balance hídrico nacional. Es importante notar que, tras la aprobación del balance hídrico, la información pasó a ser de carácter oficial y se requiere su empleo en estudios que incluyen análisis de balance hídrico de cuencas como, por ejemplo, los estudios de Planes Directores de Cuenca y otros.

El área de las grillas GMET del BHB cubre todo el sistema TDPS y permitirá calcular la demanda de riego actual en todo su territorio. Adicionalmente, el WEAP cuenta con herramientas para incorporar la información del GMET en el modelo de balance hídrico facilitando su empleo en esta plataforma.

**Figura 18. Mapas de precipitación promedio anual y temperatura media anual GMET-Bolivia**



Fuente: SEI et al 2018

En lo referido a los escenarios de cambio climático, y que debe ser considerando en la determinación de las demandas futuras de riego, el trabajo realizado en el marco de la

elaboración del BHB incluye una evaluación del desempeño de 8 modelos de circulación global y su disminución de escala (downscaling), donde se concluye que los modelos que mejor representan el comportamiento observado de la precipitación y temperatura en el periodo de estudio, son los modelos CCSM4 de Centro Nacional de Investigación Climática de Estados Unidos (NCAR) y el CanCSM2 del Centro Canadiense de Modelación y Análisis Climático (CCCMA).

A partir de estos resultados, se generaron escenarios de clima futuro para trayectorias de emisión de gases de efecto invernadero RCP 4.5 y RCP 8.5. Las series diarias se encuentran disponibles como desde 2018 hasta 2047, por unidades hidrográficas consideradas en el BHB.

### **3.6.2.2.3 Estudio de Cambio Climático TDPS**

El estudio realizado en 2016 por encargo del programa GIRH-TDPS, tenía el objetivo de realizar el análisis de escenarios climáticos en el sistema hídrico TDPS centrados al año 2050. Como parte de este trabajo se realizó inicialmente un análisis de tendencias de la precipitación y temperatura en los datos observados en las observaciones meteorológicas, como un proceso exploratorio del fenómeno de cambio climático, y luego se apeló a los resultados de modelos de circulación global para plantear las posibles tendencias de acuerdo a diferentes escenarios de evolución de emisiones de gases de efecto invernadero.

La información proporcionada comprende información observada (de tierra) homogeneizada, datos de reanálisis y salidas de datos históricos, y proyecciones de clima con cambio climático según diferentes modelos de circulación global (GCM).

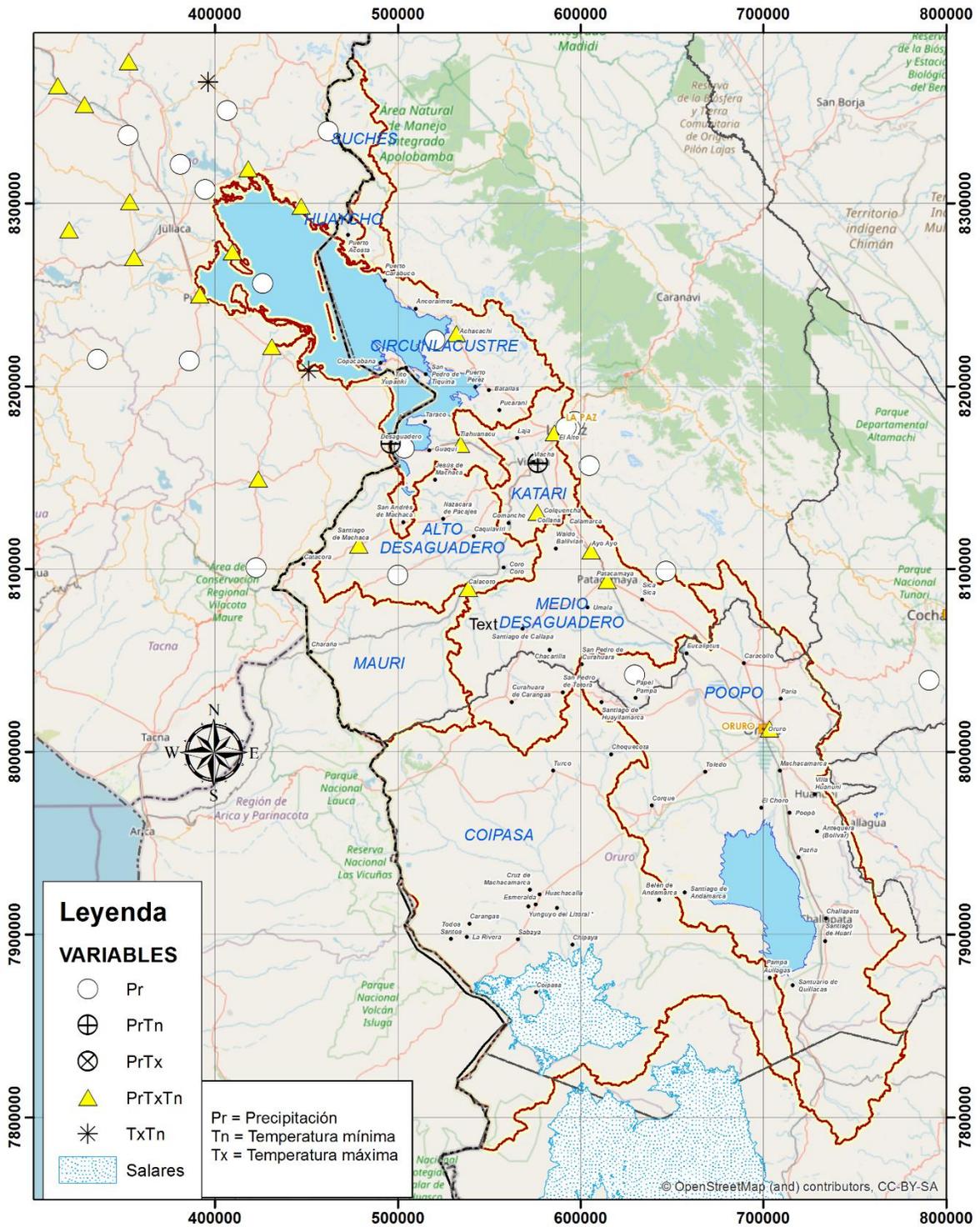
#### Información observada homogeneizada.

Se cuenta con datos diarios de precipitación, temperatura mínima y temperatura máxima, para un periodo de 36 años, desde el primero de enero de 1981 hasta el 31 de diciembre de 2016.

Para la precipitación se cuenta con 47 estaciones distribuidas a lo largo de todo el sistema TDPS y sus alrededores, de las cuales 24 se encuentran en Bolivia y 23 en el Perú. De las estaciones ubicadas en territorio boliviano, 20 se encuentran en el departamento de La Paz, 1 en Oruro, 2 en Potosí y 1 en Cochabamba. (Ver Figura 19).

Con relación a la información de temperatura, se cuenta con información de 27 estaciones meteorológicas, de las cuales 12 se encuentran en territorio boliviano y 15 en territorio peruano. A su vez, 25 tienen información de temperatura máxima diaria y 26 cuentan con información de temperatura mínima diaria (Ver Figura 19).

Figura 19. Estaciones meteorológicas y variables consideradas en el estudio de cambio climático



Fuente: Elaborado a partir del Estudio de Cambio Climático TDPS

Como se puede observar, la mayor parte de las estaciones se encuentra en la parte centro y norte de la cuenca del TDPS, habiendo muy pocas estaciones en la parte sur, que corresponde principalmente al departamento de Oruro de Bolivia. Se observa también que existe una elevada e innecesaria concentración de estaciones en el sector de la ciudad de La Paz: 5 estaciones en total.

#### Datos de reanálisis

Se trata de información meteorológica generada a través del modelo de circulación global ERA-Interim, y que actualmente ha sido sustituido por el modelo ERA-5. La información proporcionada consiste en datos de reanálisis para el periodo 1979-2017 para las variables de contenido de humedad y temperatura ambiente, para una altura de 850 hPa, y de velocidad de viento para alturas de 250 hPa y 850 hPa (10,300 msnm y 1500 msnm aprox. Respectivamente). La información no tiene ninguna utilidad práctica para los fines del presente estudio.

#### Proyecciones de clima con cambio climático según diferentes modelos de circulación global

La información proporcionada comprende los valores medios mensuales de diferentes variables climáticas-meteorológicas, de proyecciones bajo diferentes escenarios de cambio climático y realizado con diferentes modelos de circulación global (MCG). La información está proporcionada en formato net-cdf.

Los MCG's considerados son 4:

- ACCESS1.0 (Australian Community Climate Earth Simulator). Desarrollado por el Centro Australiano de Investigación del Clima. Este modelo solo comprende la atmósfera, y no así los océanos y la superficie de la tierra (CAWCR, 2012).
- CCSM4 (Community Climate System Model). Desarrollado por el Centro Nacional para Investigación Atmosférica (NCAR-Estados Unidos). Es un modelo acoplado compuesto por 4 submodelos: atmósfera, océanos, tierra y hielo marino. ([www.ucar.edu/models/ccsm4.0](http://www.ucar.edu/models/ccsm4.0))
- CM3 (Global Climate Model). Es un modelo acoplado atmósfera-océanos-tierra-hielo marino desarrollado por el Laboratorio de Dinámica Geofísica de Fluidos (GDFL). (Donner et al., 2011)
- MPI-ESM-LR (Max Planck Institute Earth System Model). Es un modelo acoplado atmósfera-océano-tierra desarrollado por el Instituto Max Planck de Meteorología (Alemania) (Giorgetta et al., 2013)

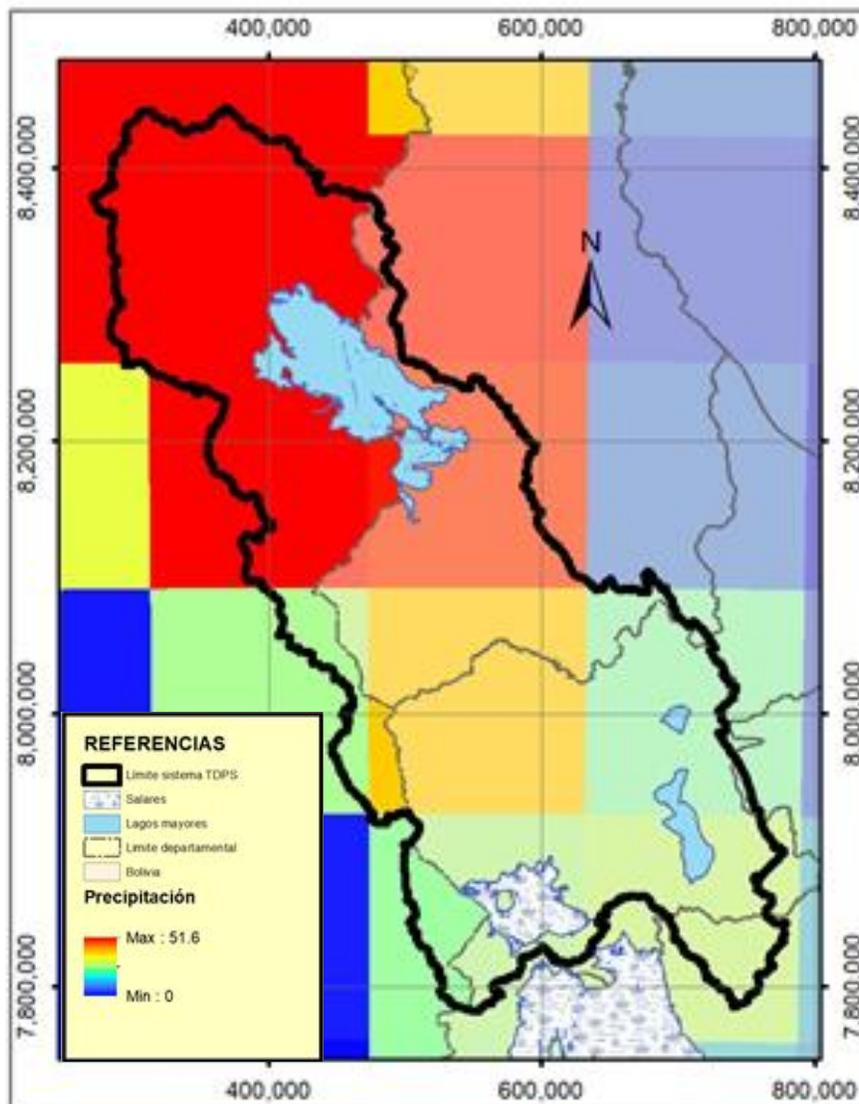
Es importante destacar que estos son 4 de entre más de 30 modelos de circulación global con información histórica y proyecciones, disponibles (Gonzales, 2016).

La información disponible para cada modelo comprende datos diarios proyectados para el periodo 2034-2066, de las siguientes variables:

- Contenido de humedad del aire en superficie
- Precipitación
- Temperatura del aire a 850 hPa
- Temperatura máxima diaria del aire en superficie
- Temperatura mínima diaria del aire en superficie
- Velocidad del viento a 250 hPa
- Velocidad del viento a 850 hPa

La resolución de la información proporcionada es de 1.5x1.5 grados geográficos, con lo cual, el TDPS está cubierto por 9 pixeles de la base de datos, como se muestra en la siguiente figura:

**Figura 20. Resolución espacial salidas de modelos de circulación global GCM**



Fuente: MMAyA – Estudio de Cambio Climático TDPS

La información de cambio climático proporcionada podría ser utilizada para la proyección de la demanda futura de riego dado que la misma es dependiente de las condiciones climáticas, principalmente de la temperatura y la precipitación.

#### **3.6.2.2.4 Conclusiones sobre la información hidrometeorológica**

Los estudios de Balance Hídrico del TDPS (Olmos, 2016) y Balance Hídrico de Bolivia 1980-2016 (SEI et al, 2018) son contemporáneos y completos. Ambos consideran todas las variables necesarias para el cálculo de la evapotranspiración y estudian su distribución espacial y temporal. El estudio de cambio climático, en cambio, tiene otro enfoque y prioriza el análisis de tendencias sobre el análisis de distribución espacial.

El estudio de Balance Hídrico de Bolivia 1980-2016, si bien considera un territorio más amplio, tiene un nivel de detalle y escala similar al estudio de Balance Hídrico del TDPS, y proporciona la información en formato de grillas con resolución espacial de 3 arcominutos, y resolución temporal de diaria, y agregados mensuales, los cuales han sido obtenidos por un método de interpolación estadística con procedimientos de validación.

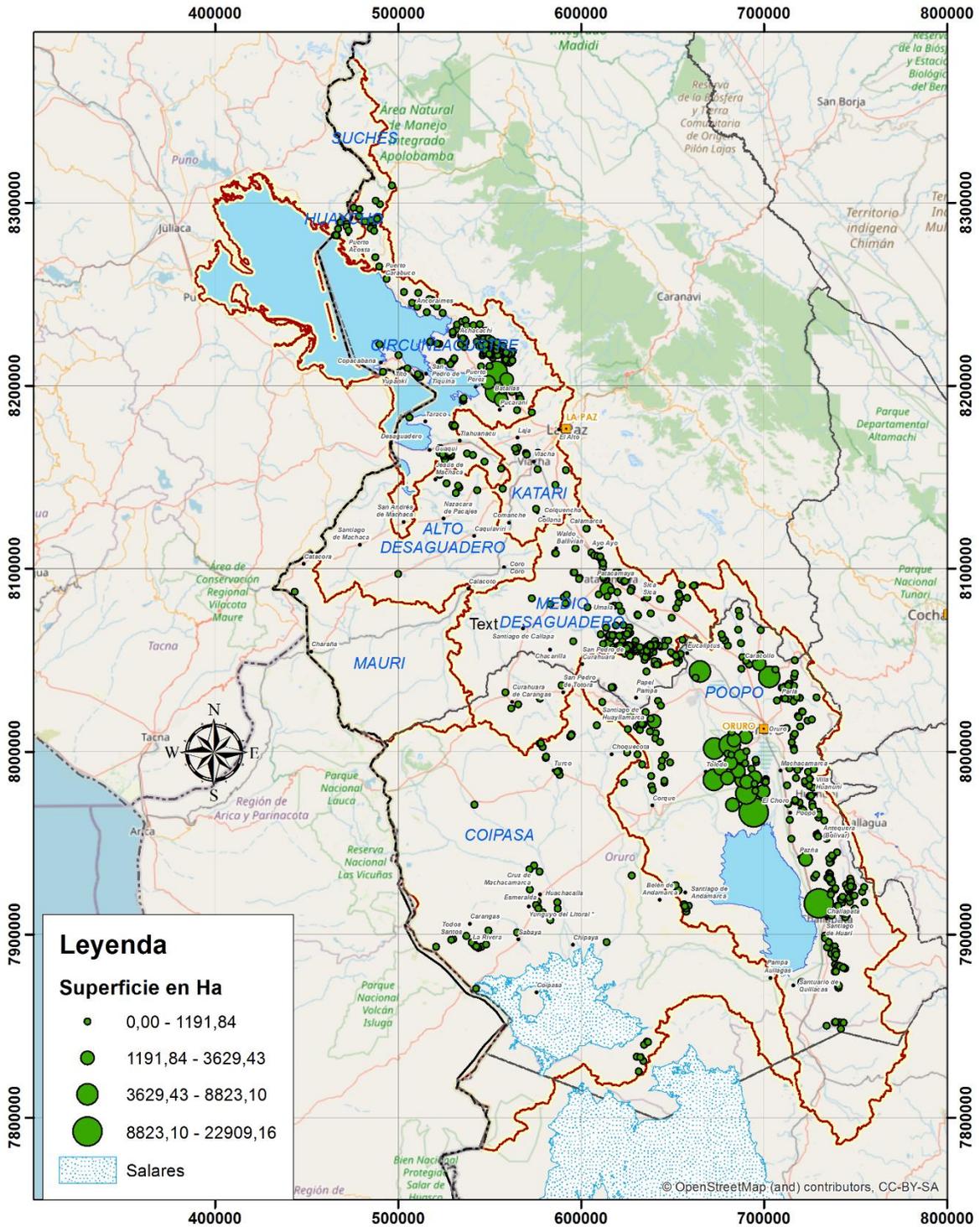
La información del Balance Hídrico del TDPS, para su aplicación, en cambio, requiere de un procesamiento laborioso para que pueda ser utilizada en la evaluación de la evapotranspiración: interpolación de precipitación y temperatura para aproximadamente 450 meses para que se encuentre en las mismas condiciones de disponibilidad de uso que la información del Balance Hídrico de Bolivia 1980-2016.

Por estos motivos, se decide utilizar la información climática del Balance Hídrico de Bolivia 1980-2016.

#### **3.6.3 Implementación del cálculo**

La base de datos de demanda de agua para riego cuenta con un total de 1446 entradas, o áreas bajo riego. Como se muestra en la siguiente figura

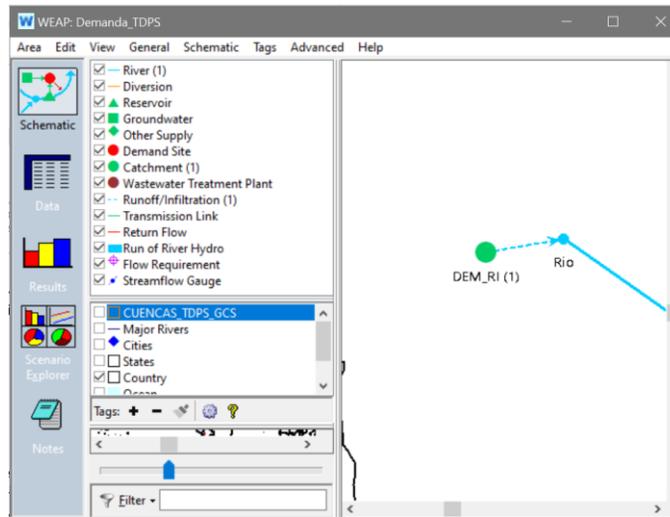
Figura 21. Ubicación de áreas bajo riego en el TDPS – Bolivia (centroides)



Fuente: Elaboración propia

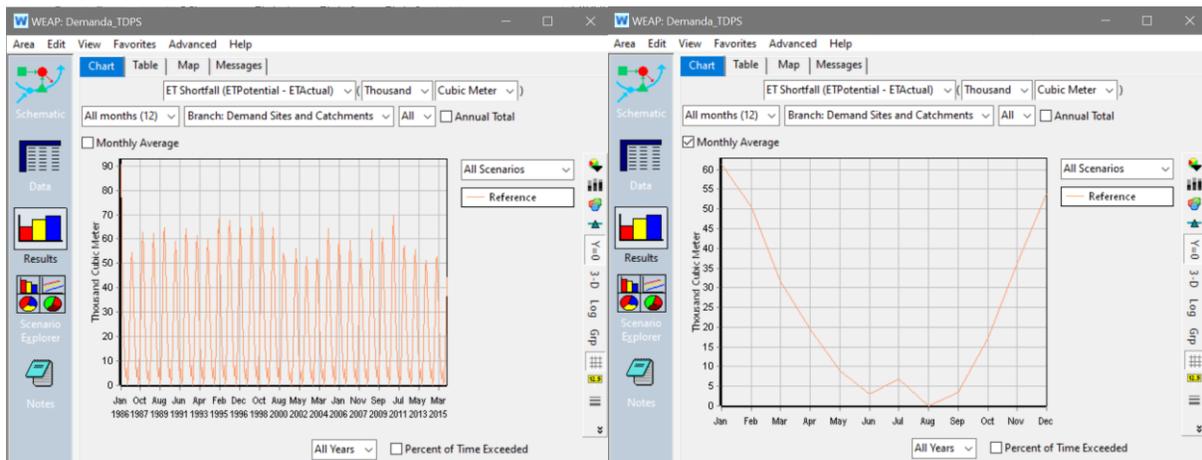
Para el cálculo del requerimiento de riego de sistema, se ha implementado un modelo simple en WEAP (Figura 22), el cual consta de un área de riego de 5 cultivos. A través de una rutina implementada en Visual Basic, la información de la base de datos y la información climática correspondiente a cada punto son introducidas al modelo, el mismo se ejecuta para el periodo 1986-2016 (20 años), con una resolución temporal mensual y se determina el requerimiento de riego promedio mensual para este periodo. Los resultados de la modelación (Figura 23) son exportados a una planilla de cálculo donde se realiza el cálculo final de la demanda total de riego aplicando la eficiencia del sistema de riego.

**Figura 22. Esquema del modelo utilizado**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 23. Requerimiento de riego: series histórica mensual y promedios mensuales**



Fuente: Elaboración propia

### 3.7 Estimación de la demanda actividad ganadería

#### 3.7.1 Metodología

El cálculo de la demanda de agua para consumo del ganado es similar al cálculo de la demanda de agua para consumo humano. La demanda se calcula multiplicando el número de cabezas de ganado por el consumo diario per-cápita, el cual depende del tipo de ganado y de su estado de desarrollo. Para fines prácticos, se considerará consumos diarios promedio para animales adultos (ver Tabla 10).

$$\text{DEMANDA} = \text{No CABEZAS} \times \text{CONSUMO PER CÁPITA}$$

##### 3.7.1.1 Tipos de ganado con mayor incidencia en el consumo de agua

De acuerdo con el Censo Nacional Agropecuario 2013, en el área del TDPS las comunidades rurales crían diferentes tipos de ganado: bovino, ovino, porcino, caprino, llamas, alpacas, caballos, mulas, asnos, conejos y cuyes.

Para establecer los tipos de ganado que tienen mayor incidencia en el consumo de agua en el área del TDPS se ha procedido a totalizar las cabezas de ganado por tipo y se ha determinado el consumo de agua total de cada tipo, como se muestra en la Tabla 7. Como se puede observar, los ganados con mayor incidencia en el consumo del agua son: ovino, bovino, camélidos (llama, alpaca), equinos (asnos, mulas y caballos) y los porcinos, haciendo el 99.8% de la demanda.

**Tabla 7. Consumo de agua de diferentes ganados en el TDPS**

Ganado	Cabezas (CNA, 2013)	Consumo diario per-cápita [Lt/cab/día]	Total diario [Lt]	%
Bovino (incl. Bueyes)	392,584	60	23,555,040	39.9%
Ovino	2,392,701	10	23,927,010	40.6%
Porcino_gr	76,192	12	914,304	1.6%
Caprino	1,765	7	12,355	0.0%
Llamas	1,136,569	6	6,819,414	11.6%
Alpacas	338,498	5	1,692,490	2.9%
Equinos (caballos, mulas y asnos)	48,717	40	1,948,680	3.3%
Conejos	20,413	2	40,826	0.1%
Cuyes	74,388	1	74,388	0.1%
		TOTAL	58,984,507	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CNA, 2013

### 3.7.1.2 Número de cabezas y proyección del crecimiento

Los datos del Censo Nacional Agropecuario CNA, 2013 se constituyen en la base inicial de la cantidad de ganado en cada comunidad, sin embargo, no se cuenta con información de la tasa de crecimiento para poder realizar proyecciones hacia el futuro.

En los talleres de campo realizados en el marco del presente estudio, se ha aplicado una encuesta a nivel de comunidades sobre la tenencia de ganado, la misma que ha permitido actualizar los datos del CNA, 2013 y estimar una tasa de crecimiento a nivel de municipio para un total de 14 municipios, donde se contaba con suficiente información (más de 10 comunidades encuestadas).

Para determinar la tasa de crecimiento del ganado, en cada municipio se ha comprado la cantidad de cabezas de un determinado ganado, para el CNA 2013 y para las encuestas realizadas en 2021. En la Figura 24 se muestra las comparaciones realizadas para el municipio de Puerto Acosta. Una regresión lineal con ordenada cero (ver Ecuación 1) permite establecer un factor de crecimiento  $m$  entre ambas fuentes de información.

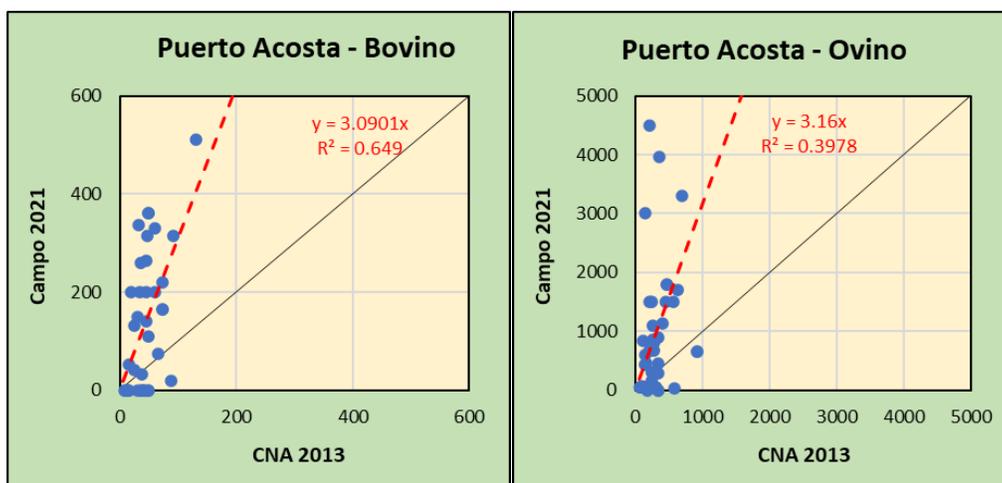
$$P_f = m \times P_0 \quad (1)$$

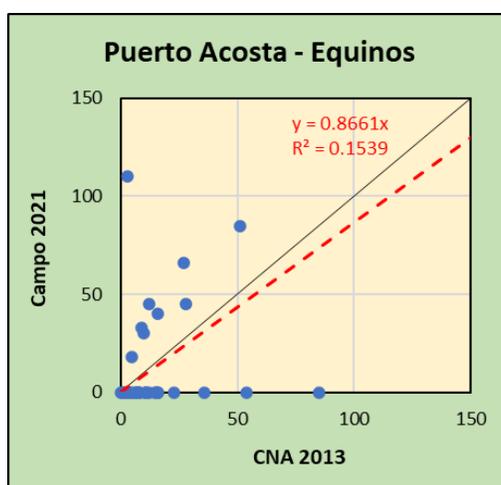
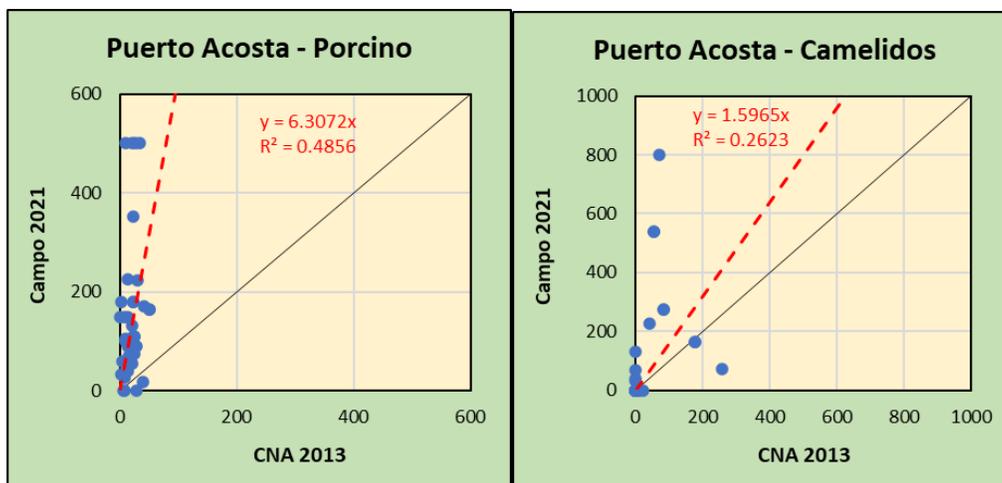
Donde  $P_f$  es la población final,  $m$ , el factor de crecimiento entre 2013 y 2021, y  $P_0$  es la población inicial.

Una vez establecido este factor de crecimiento, asumiendo un crecimiento geométrico, se puede determinar la tasa de crecimiento  $i$  como se muestra a continuación:

$$m = (1 + i)^n \quad (2)$$

Figura 24. Comparación de datos CNA 2012 y encuestas de campo





Fuente: Elaboración propia

Cuando los puntos se encuentran por encima de la línea diagonal, indica un aumento del número de cabezas de ganado, y cuando está por debajo, una disminución.

Donde  $i$  es la tasa de crecimiento anual, y  $n$ , el número de años considerado, en este caso 8 años, desde 2013 hasta 2021. Luego, la tasa de crecimiento se calcula como:

$$i = \sqrt[n]{m} - 1 \quad (3)$$

Un valor negativo de  $i$  indica decrecimiento, 0 indica que se mantiene en el tiempo y un valor positivo indica crecimiento. Para coeficientes de correlación  $R^2 < 0.2$  se ha asumido que la relación no es significativa y se ha asumido que no existe crecimiento ( $i = 0$ ).

Las tasas de crecimiento determinadas para los 14 municipios evaluados se muestran en la Tabla 8. Como se puede observar, las tasas de crecimiento determinadas son altas en algunos casos, mayores a 10% lo que muestra un crecimiento significativo del sector. También se puede advertir que existe disminución de actividad ganadera en algunos municipios, como por ejemplo, en

Curahuara de Carangas, donde se advierte una disminución generalizada, o en Toledo, donde existe una disminución significativa de la cría de ovejas. Estas tasas de crecimiento se utilizarán para la proyección del número de cabezas de ganado desde 2013 hasta 2020.

**Tabla 8. Tasas de crecimiento anual de número de cabezas de ganado (%)**

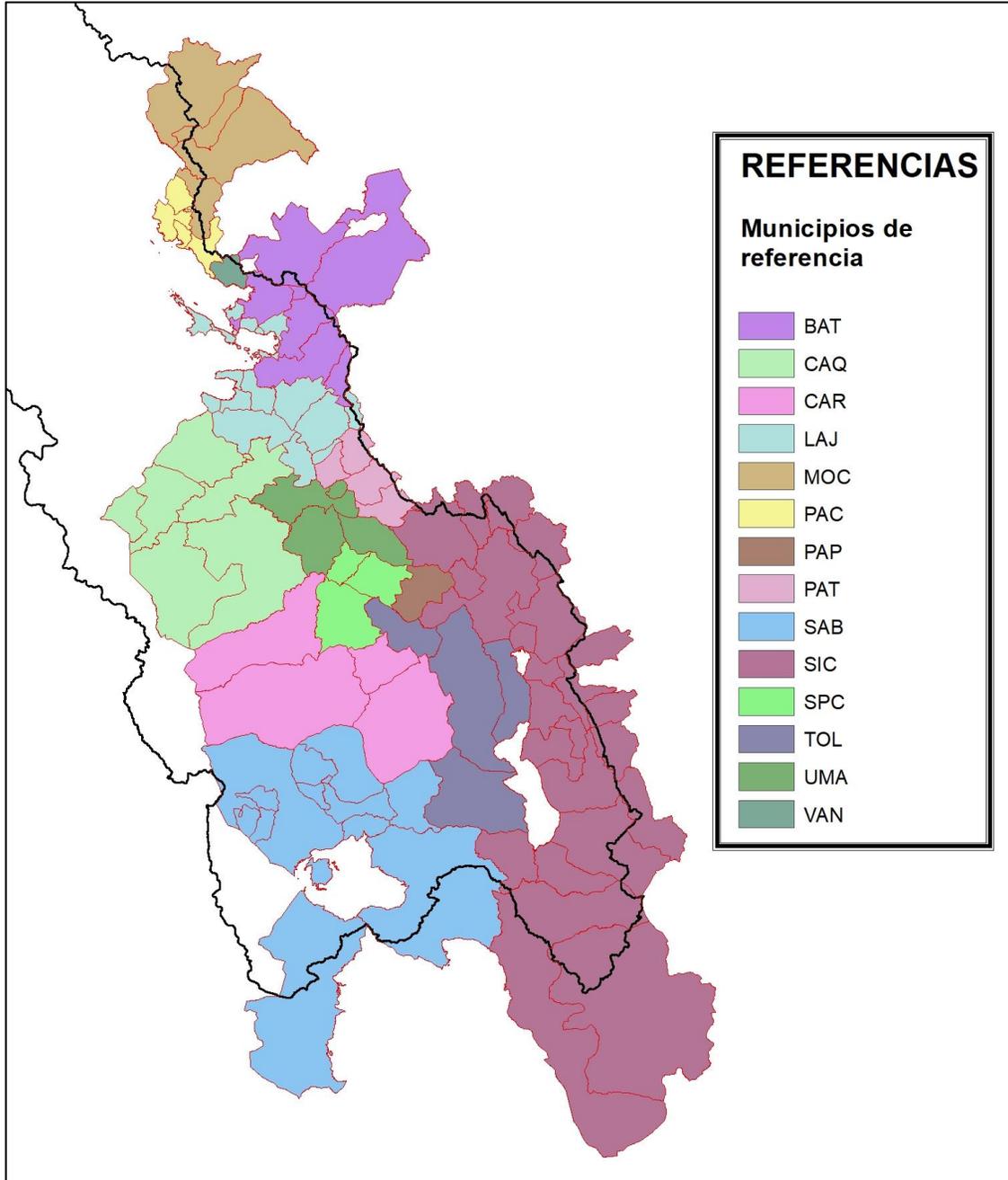
Abrev.	Municipio	Bovino	Ovino	Porcino	Caprino	Llamas	Alpacas	Equinos
BAT	Batallas	6.20	4.81	16.66	0.00	31.79	31.79	0.00
CAQ	Caquiaviri	8.69	6.55	13.38	0.00	20.28	20.28	10.80
CAR	Curahuara de Carangas	-20.94	0.00	0.00	0.00	-2.49	-2.49	0.00
LAJ	Laja	8.85	3.16	8.59	0.00	0.00	0.00	13.73
MOC	Mocomoco	7.43	16.59	14.28	0.00	0.00	0.00	11.05
PAP	Papelpampa	8.67	-4.00	1.34	0.00	0.00	0.00	0.00
PAT	Patacamaya	9.26	4.78	15.22	0.00	0.00	0.00	-16.05
PAC	Puerto Acosta	15.15	15.47	25.89	0.00	6.02	6.02	0.00
SAB	Sabaya	0.00	0.00	0.00	0.00	9.94	9.94	0.00
SPC	San Pedro de Curahuara	8.98	8.72	0.00	0.00	21.83	21.83	-3.63
SIC	Sicasica	12.77	14.23	9.44	0.00	2.21	2.21	0.34
TOL	Toledo	0.00	-7.86	24.46	0.00	1.21	1.21	0.00
UMA	Umala	7.47	10.23	0.00	0.00	20.29	20.29	-3.06
ANC	Villa Ancoraimas	8.80	8.94	16.09	0.00	24.54	24.54	4.07

Fuente: Elaboración propia

Para el regionalizar las tasas de crecimiento obtenidas, a todo el territorio del TDPS, se ha procedido a asignar las tasas obtenidas a los municipios próximos, tomando en cuenta sus características climáticas y fisiográficas. En la siguiente Figura se muestra las regiones definidas alrededor de los 14 municipios con información.

Para la proyección del número de cabezas de ganado hacia el futuro se ha utilizado las tasas de crecimiento departamentales establecidas por el INE, las mismas que se presentan en la Tabla 9, siempre y cuando estas no sean menores que cero. Se propone el uso de estas tasas de crecimiento en virtud de que no representan un crecimiento elevado que podría repercutir en la excedencia de la capacidad de carga de las pasturas en muy corto tiempo.

Figura 25. Regiones de crecimiento de ganadería - TDPS



Fuente: Elaboración propia

Es importante destacar que las proyecciones realizadas no consideran la superficie disponible de pasturas para el ganado ni la capacidad de carga de estos, que, en algún momento, sin duda, constituirán una limitación para el crecimiento del ato de ganados. En este sentido, se recomienda que se pueda realizar un estudio complementario, especializado que pueda tener en cuenta estos aspectos.

**Tabla 9. Tasas anuales de crecimiento de la población de ganados según INE, 2020**

Departamento	Tasas de crecimiento anual 2013-2020 (%)				
	Bovino	Ovino	Porcino	Llamas	Alpacas
La Paz	1.3	0.7	2.1	-0.1	-0.7
Oruro	1.8	0.5	0.6	-0.3	0.2
Potosí	1.3	0.1	-0.1	-1.0	0.7

Fuente: INE, 2020

### 3.7.1.3 Consumo per-cápita de agua para diferentes ganados

En la siguiente tabla se detallan los consumos diarios per-cápita para los tipos de ganado más importantes en la región del TDPS.

**Tabla 10. Consumo de agua de ganado**

Tipo de Ganado	Consumo per-cápita (L/cab/día)	Fuente
Bovino	70	Mendoza (2013)
Ovino	4	INIA (2007)
Porcino	4	Quiles & Hevia,
Llamas	6	San Martin, 1994
Alpacas	5	San Martin, 1994
Equino	40	Vacaro et al, 2014

Fuentes citadas en la tabla.

## 3.8 Estimación de la demanda actividad turismo

La actividad turística genera una demanda de agua para consumo humano adicional al de la población permanente. La afluencia turística se concentra en ciertos lugares de interés con centros y atracciones turísticas y puede variar de una época a otra. El Sistema TDPS, en el lado Boliviano, los principales puntos de interés es la ciudad de Copacabana, la población de Sajama, la población de Tihuanacu, la ciudad de El Alto y la ciudad de Oruro.

### 3.8.1 Copacabana

El turismo es una actividad económica importante en el eje La Paz – Tiquina – Copacabana. Sin embargo, en cuanto a su demanda de agua, sólo tiene influencia en la ciudad de Copacabana, donde la población itinerante (o flotante) puede llegar a permanecer hasta dos días, debido principalmente a la devoción a la Virgen de Copacabana, a sus características naturales y escénicas del lago Titicaca, a su historia, su arquitectura y arqueología. La ciudad de Copacabana es además el punto de concentración para visitar los importantes recintos arqueológicos de las islas de la Luna y del Sol (CPM, 2012).

Según el INE (2021), el número de viajeros extranjeros que ingresaron a territorio nacional por la frontera Kasani/Copacabana creció de 79.992 en el año 2008, hasta 109.377 en 2018. El aumento

del flujo de viajeros que ingresan por esta frontera al país ha sido de aproximadamente 4% anual (crecimiento geométrico).

Por otra parte, el número de viajeros extranjeros que salen del territorio nacional por la frontera Kasani/Copacabana aumentó de 53.484 en 2008 a 79.253, en 2018, con una tasa de crecimiento promedio de 4%, igual a la tasa de crecimiento del flujo de entrada de turistas extranjeros.

Considerando que los extranjeros que ingresan por el punto fronterizo Kasani/Copacabana, continúan su viaje hacia el sur, y no retornan por este punto, y que los viajeros que salen por este punto fronterizo son otros que tienen su itinerario hacia el norte, el flujo total de turistas en Copacabana se puede estimar como la suma de viajeros que ingresan más los que salen por este punto fronterizo.

Además del flujo regular de turistas extranjeros, existe una afluencia significativa de visitantes nacionales en el feriado de semana santa, por devoción a la virgen de Copacabana. Según CPM Consultores (2012), se estima que para el año 2010 la afluencia de personas en esta época del año ascendía a 3771 personas, mientras que notas de presa del año 2019 ([www.urgente.bo](http://www.urgente.bo)) apuntan a que esta afluencia habría aumentado a 10.000 personas para el año 2019.

Otras afluencias puntualmente elevadas se presentan durante las principales festividades de la ciudad, las que se detallan en la siguiente Tabla (CPM, 2012):

**Tabla 11. Principales festividades de Copacabana y afluencia turística**

Mes	Festividad	Duración (días)	Carga turística diaria (personas)
Febrero	Virgen de la Candelaria	3	4830
Mayo	Señor de la Cruz	3	4095
Julio	Virgen del Carmen	3	5100
Agosto	Virgen de las nieves	3 a 5	4516
Noviembre	Festividad residentes de Copacabana	3	4977

Fuente: CPM, 2012

A partir de esta información, se ha proyectado el número de visitantes para la ciudad de Copacabana, para el año 2020, sin considerar la pandemia del COVID 19. Así, se estima que ese año se hubiera tenido una afluencia total de 210.477 turistas extranjeros, y una afluencia de aproximadamente 10.000 visitantes nacionales en semana santa (abril), con un tiempo promedio de estadía de 3 días.

Para el cálculo de la demanda de agua se considera una dotación media de 60 litros por persona, por día.

### 3.8.2 Ciudad de El Alto

De acuerdo con INE 2021, la ciudad de El Alto recibió un promedio de 22.522 visitantes-noche/año entre 2016 y 2019, valor que se puede asumir también para 2020 si se ignora las restricciones producidas por la pandemia de Covid 19. Para obtener la cantidad mensual de visitantes se distribuye el total anual según el porcentaje de turistas que reporta INE (2021) para el año 2018. Para el cálculo de la demanda de agua se considera una dotación media de 60 litros por persona, por día.

**Tabla 12. Distribución mensual de ingreso de turistas**

Mes	Número de turistas que ingresa	Porcentaje (%)
Enero	286,693	13.9%
Febrero	219,207	10.6%
Marzo	151,455	7.4%
Abril	144,313	7.0%
Mayo	140,271	6.8%
Junio	124,087	6.0%
Julio	198,818	9.7%
Agosto	162,126	7.9%
Septiembre	140,858	6.8%
Octubre	142,127	6.9%
Noviembre	134,335	6.5%
Diciembre	214,439	10.4%
<b>Total</b>	<b>2,058,729</b>	<b>100.0%</b>

Fuente: Elaboración a partir de INE, 2021

### 3.8.3 Tiawanacu

Según Yujra (2019), el flujo de turistas al sitio arqueológico de Tiawanacu creció de 96.005 personas, en 2008, hasta 126.812, personas en 2017, lo que representa una tasa promedio de crecimiento geométrico del 3.14%. Así, para 2020 se esperaba una afluencia de 139.139 personas, si no se considera la pandemia de Covid 19. Al no contarse con el desglose mensual de las visitas, se asumen que la distribución correspondiente al ingreso mensual de turistas al país (ver **Tabla 12**). Las personas que visitan el complejo turístico de Tiawanacu permanecen en el sitio durante el día, por lo que el consumo de agua se limita a la alimentación y uso de sanitarios, por lo que para el cálculo de la demanda de agua se asume una dotación de 40 litros/persona.

### 3.8.4 Ciudad de Oruro

De acuerdo con INE 2021, la ciudad de Oruro recibió un promedio de 81.461 visitantes-noche/año entre 2016 y 2019, valor que se puede asumir también para 2020 si se ignora las restricciones producidas por la pandemia de Covid 19. Para obtener la cantidad mensual de visitantes se distribuye el total anual según el porcentaje de turistas que reporta INE (2021) para el año 2018. Para el cálculo de la demanda de agua se considera una dotación media de 60 litros por persona, por día.

Por otra parte, se presenta una afluencia extraordinaria de visitantes en el mes de febrero, con motivo del carnaval de Oruro. De acuerdo una nota de prensa de La Razón (2013), el año 2013, entre 350.000 y 400.000 personas habría visitado la ciudad de Oruro con motivo del carnaval. En 2017 (Los Tiempos, 2017), 412.000 persona habrían asistido al evento, y en 2019, al menos unas 300.000 personas ([www.la-epoca.com.bo](http://www.la-epoca.com.bo)). A partir de estos valores se considera razonable considerar una afluencia de 400.000 personas en promedio. Para el cálculo de la demanda de agua se considera una demanda de agua de 60 litros /persona.

### 3.8.5 Parque Nacional Sajama

El Parque Nacional Sajama es otro de los destinos turísticos importantes de la región y del país (Crispín, 2018). Entre los principales atractivos turísticos se encuentran el Nevado Sajama, el más alto de Bolivia, el bosque de queñuas, cadena de geisers de Juchusuma Sajama y aguas termales.

El Parque Nacional Sajama es el más antiguo del país, fundado en 1939. De acuerdo con la Estrategia para el Desarrollo del Turismo en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (Citado en Crispín, 2018), el flujo turístico al PN Sajama creció de 3.247 personas/año en 2001, a 5197 personas/año en 2010 (Ver Tabla 13).

De acuerdo con el Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP, 2021 [www.sernap.gob.bo/informacion-estadistica](http://www.sernap.gob.bo/informacion-estadistica)), la afluencia de turistas habría alcanzado un máximo de 5.189 visitantes en 2018, con valores bajos en 2014 y 2015 (1.327 visitas), y un último valor reportado de 4.990 visitantes en 2019).

**Tabla 13. Afluencia turística PN Sajama**

Año	No. Total de visitantes	Año	No. Total de visitantes	Año	No. Total de visitantes
2001	3247	2007	4254	2014	1507
2002	2880	2008	3868	2015	1327
2003	3308	2009	4763	2016	4350
2004	2978	2010	5197	2017	3720
2005	2464	2012	4694	2018	5189
2006	4125	2013	4435	2019	4990

Fuente: Crispín (2018), SERNAP (2021)

Para fines del presente estudio, se asume una afluencia de 5200 personas para el año 2020, sin considerar la influencia de la pandemia de Covid 19. Se considera una estadía de 2 días por persona de acuerdo con paquetes turísticos identificados. Para el cálculo de la demanda de agua se asume un consumo de 60 litros/persona/día.

### 3.9 Estimación de la demanda actividad industrial

La demanda de agua de actividades del sector industria está estrechamente relacionada con la naturaleza de sus productos, la producción y la tecnología de los procesos empleados. La evaluación de estos aspectos, sin embargo, escapa a los alcances del presente trabajo, y en su

lugar, la demanda de agua del sector se determinará a partir de la información de extracción de agua reportada a la Autoridad de Agua Potable y Saneamiento - AAPS que es la institución encargada de otorgar licencias de explotación de fuentes de agua para el sector.

Asimismo, se hace notar que existe un importante número de industrias que no se encuentran registradas en la AAPS, y que por lo tanto no se cuenta con el consumo de agua de estas, Sin embargo, la mayoría de éstas se encuentran en el área urbana de las ciudades de El Alto, Viacha y Oruro, y normalmente su demanda se encuentra incluida en la estimación de la dotación de agua de dichas ciudades (e.g. Typsa et al, 2013, Tractebel & CPM, 2021).

En el desarrollo del trabajo, se ha tenido acceso a la base de datos de industrias de la dirección de Medio Ambiente del Gobierno Municipal de El Alto, sin embargo, la misma no cuenta con la localización geográfica de las mismas y, lo más importante, no cuenta con un registro del consumo de agua de éstas.

En este sentido, se hace notar que la información presentada en este documento se encuentra subvalorada y se recomienda que se pueda realizar un estudio especializado que permita establecer con más certidumbre la demanda de agua para el sector industria.

La publicación de la Cámara Nacional de Industrias “Bolivia - La industria en cifras por departamentos 1994 - 2018”, presenta el crecimiento promedio del Producto Interno Bruto del sector Industria desde 1994 hasta 2018, por departamentos (Ver Tabla 14). Se observa que para los departamentos de La Paz y Oruro corresponden valores de 3.74% y 2.02% respectivamente.

**Tabla 14 Crecimiento de PIB-Industria manufacturera por departamentos (%)**

ACTIVIDAD ECONÓMICA	1994	2018(p)	Promedio de 1994 a 2018	Desv. St.
Chuquisaca	10,14	0,79	3,35	<b>4,67</b>
La Paz	4,92	5,69	3,74	<b>2,51</b>
Cochabamba	7,48	7,94	3,78	<b>3,10</b>
Oruro	0,89	-3,96	2,02	<b>3,30</b>
Potosí	1,11	16,68	3,12	<b>3,38</b>
Tarija	-1,37	0,31	2,88	<b>4,86</b>
Santa Cruz	5,36	5,6	5,52	<b>2,55</b>
Beni	0,8	6,69	3,33	<b>1,99</b>
Pando	45,19	4,03	4,07	<b>9,01</b>
<b>Bolivia</b>	<b>5,41</b>	<b>5,52</b>	<b>4,20</b>	<b>1,80</b>

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, citado en Siles, 2020 (Cámara Nacional de Industrias)

Para proyectar el crecimiento de la demanda hídrica del sector industria, se asume que el crecimiento del PIB es representativo, y que el incremento en el consumo de agua es

proporcional al crecimiento del sector. En la Tabla 15 se presenta la demanda de agua actual y proyecciones hasta el año 2050, para las subcuencas donde se encuentran concentradas las actividades industriales.

**Tabla 15. Demanda de agua del sector industria, actual y proyección al 2050 (MMC)**

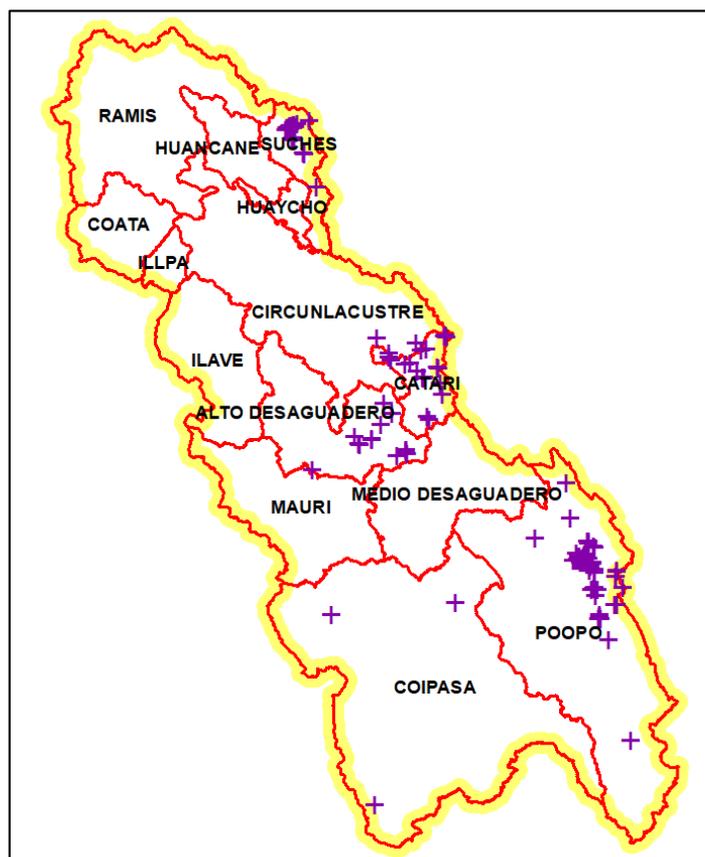
SUBCUENCA	2020	2030	2040	2050
KATARI	9,35	13,50	19,49	28,14
POOPO	1,08	1,32	1,61	1,96
<b>TOTAL</b>	<b>10.43</b>	<b>14.82</b>	<b>21.10</b>	<b>30.10</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.10 Estimación de la demanda actividad minera

El uso del agua en la minería tiene dos ámbitos, por una parte, se tiene el uso de agua en el socavón para la refrigeración de barrenos, que representa una cantidad mínima, y por otra se tiene el uso del agua en los ingenios, donde se realiza la concentración del mineral. Es en este último donde se utiliza la mayor cantidad de agua.

**Figura 26. Actividades del sector minero en el TDPS**



Fuente: Elaboración propia a partir de información del Ministerio de Minería y Metalurgia.

La cantidad de agua utilizada en el ingenio depende del proceso de concentración del mineral, y del mineral en sí mismo, de la tecnología empleada y de si se realiza la recirculación del agua o no.

Para fines del presente trabajo, se ha coordinado con la Dirección de Medio Ambiente del Ministerio de Minería para tener acceso a los manifiestos ambientales de las actividades mineras en el área del TDPS, donde los operadores mineros reportan el consumo de agua y las fuentes de donde se obtiene.

En total se ha tenido acceso a 313 documentos entre manifiestos ambientales, PPM-PASA y estudios de evaluación de impacto ambiental, correspondientes a los municipios que forman parte del TDPS. Una parte de la información ha sido proporcionada en formato digital, aproximadamente el 50%, y a la otra parte, se ha tenido acceso a los documentos en físico, en el archivo de la Dirección de Medio Ambiente del Ministerio de Minería. En este último caso, se ha procedido a digitalizar la información in situ utilizando celular y una aplicación de digitalización a formato pdf (cam scanner).

De los 313 documentos consultados se ha quedado con una base de datos de 145 actividades mineras, habiéndose depurado las que no se encuentran en el TDPS y las que corresponden a actividades de comercialización, las mismas que solo tienen un consumo doméstico mínimo de agua. En la siguiente Figura se muestra la distribución espacial de las operaciones mineras en el TDPS-Sector Bolivia.

La información recopilada incluye por sí misma el consumo mensual de agua y los meses en que la operación está activa. Con relación a este último punto, lo normal es que las operaciones se realicen durante todo el año, sin embargo, existen algunas donde por problemas de accesibilidad en época de lluvias, y otras donde por falta de agua en la época seca, se paralizan las actividades por aproximadamente 2 meses en ambos casos.

### **3.11 Acuicultura**

La acuicultura es una actividad económica concebida como uso de agua no consuntivo, toda vez que los requerimientos se refieren principalmente a) a una tasa de renovación del agua, b) a un volumen de agua en los estanques y c) a una profundidad de agua requerida (FAO, 2014). Estudios realizados en el lago Titicaca por la Universidad Nacional de Juliaca (Ocola et al, 2020) estiman que la cantidad de agua utilizada para la producción de una tonelada de trucha es de 24.3000 m<sup>3</sup>, equivalente a un caudal medio de 11.7 l/s.

En el sistema TDPS, en el lado boliviano, la acuicultura está principalmente relacionada con la cría de trucha, la misma, inició según la FAO (2009) en la década 1930 y según Ocola et al (2021) alrededor de 1948. Esta actividad se realiza principalmente en las partes altas de la cordillera Real, en las lagunas que alimentadas por los glaciares, hoy en proceso de retroceso por efecto de los cambios climáticos y en el lago Titicaca (CIDAB, 2003; citado en Ocola et al. 2021).

La crianza de truchas en el sistema TDPS, correspondiente al departamento de La Paz, ha crecido significativamente de 31 toneladas en 1991, hasta 140 toneladas en 2015. Asimismo, el número de productores se ha incrementado de 145 a 466, distribuidos en 8 provincias del departamento (Ocola et al 2021).

En el departamento de Oruro, el deterioro ambiental de los lagos Uru Uru y Poopó ha terminado con las iniciativas implementadas en 2008. Actualmente, existen organizaciones sociales y productivas en torno a la pesca y la gobernación de Oruro apoyó con la introducción de alevinos en los mencionados cuerpos de agua; también se cuenta con centros piscícolas en diferentes localidades del departamento, en estanques alimentados desde los ríos. La producción es irregular, con altibajos, habiendo aumentado, en líneas generales, de 5.6 toneladas en 2010 a 20.8 toneladas en 2015 (Ocola, 2021).

La acuicultura en cuerpos de agua naturales debería realizarse sobre la base del conocimiento limnológico de los mismos para garantizar su sostenibilidad en el tiempo. Actualmente no se cuenta con información respecto de la capacidad de carga en cada uno de los cuerpos de agua, ni se cuenta con estudios del estado trófico de los cuerpos de agua en relación con la actividad acuícola (Ocola et al, 2020).

Para la cría de trucha en la cordillera Real se aprovechan los volúmenes y caudales naturales disponibles en las lagunas o embalses donde se realiza la actividad, por lo que no representan un consumo de agua en el balance hídrico de las cuencas. Por otra parte, al realizarse en la parte alta de las cuencas, son independientes y con poco riesgo de conflicto con las actividades del riego y abastecimiento de agua para consumo humano, que generalmente se encuentran aguas abajo.

La cría de truchas en el lago Titicaca, en cambio, sí puede ser afectada por la variación de niveles en el lago y por la calidad del agua de éste, debido al uso cada vez más intensivo del agua en la cuenca, tanto en el lado peruano como en el lado boliviano.

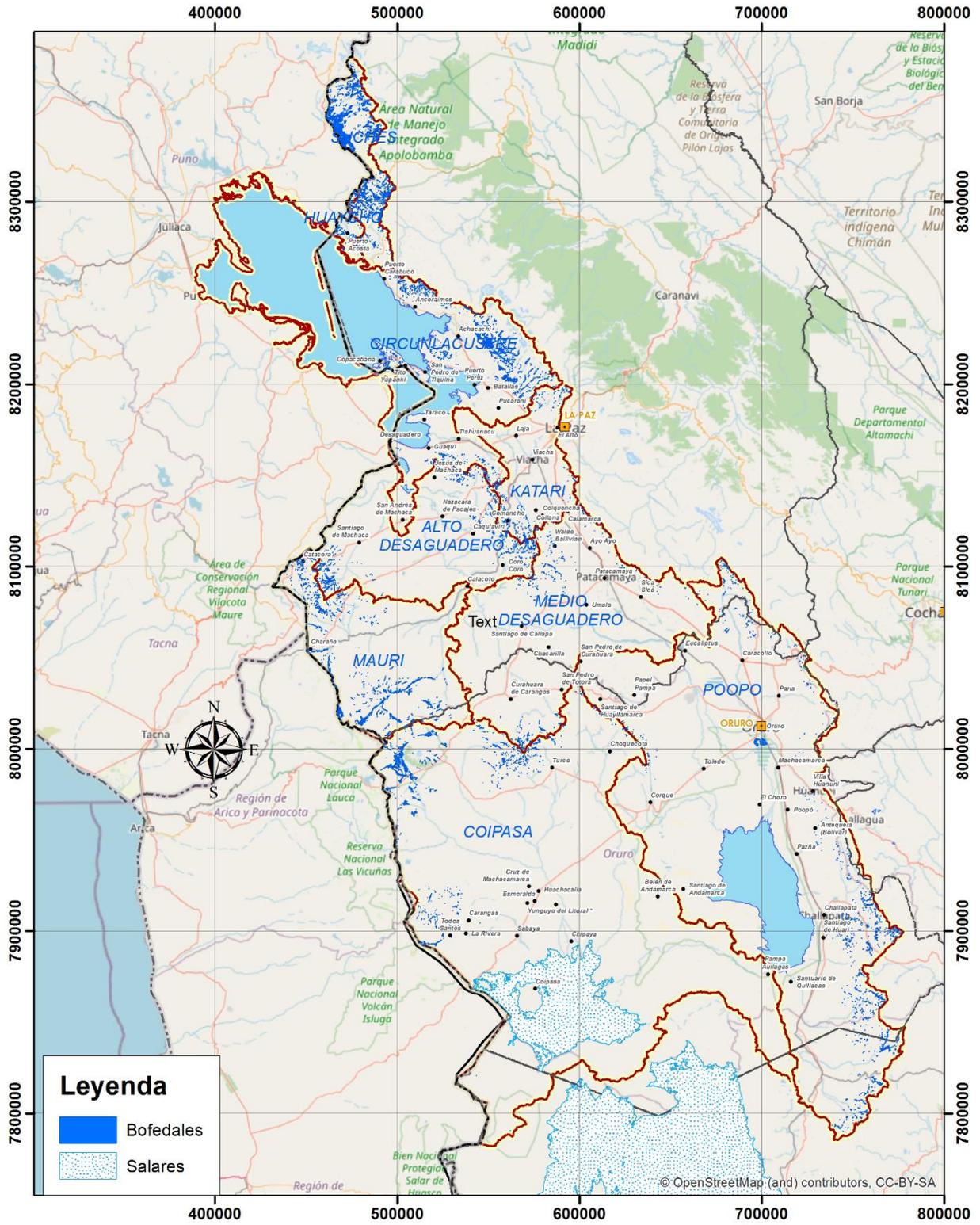
Por otra parte, la cría intensiva de truchas también es una fuente de deterioro ambiental de los cuerpos de agua como consecuencia del aporte de materia orgánica y nutrientes por el desperdicio de alimentos y las excreciones fisiológicas de los peces (Ocola et al, 2021).

En este contexto, la acuicultura siendo una actividad de uso de agua no consuntivo, desarrollándose en los cuerpos de agua existentes, no corresponde calcular una demanda de agua para esta actividad.

### **3.12 Estimación de la demanda ecosistemas (bofedales)**

El cálculo de la demanda de agua para el mantenimiento de bofedales no está establecido en los términos de referencia del estudio. Sin embargo, a solicitud de la Cancillería de Bolivia, se ha realizado el mapeo de estos para generar, con carácter referencial, una estimación de los requerimientos de agua para su mantenimiento. En la siguiente figura se presenta la ubicación de los bofedales en el sistema TDPS (Bolivia).

Figura 27. Bofedales en el sistema TDPS



En la siguiente tabla se resumen la superficie de bofedales estimada para cada subcuenca.

**Tabla 16. Áreas de bofedal por subcuencas**

Subcuenca	Área de bofedal en (ha)
Alto Desaguadero	3,317
Katari	1,087
Circunlacustre	7,500
Coipasa	8,572
Huaycho	572
Mauri	6,899
Medio Desaguadero	1,302
Poopó	4,993
Suches	13,349
<b>Total general</b>	<b>47,591</b>

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Demanda agua consumo humano

La demanda hídrica del sector agua para consumo humano está representada básicamente por el N° de habitantes dentro de una población rural o urbana presente en el sistema TDPS. En ese sentido a continuación se presenta las categorías de centros poblados, la población presente y la demanda de agua para consumo humano.

#### 4.1.1 Categorías de centros poblados

En la siguiente tabla se presentan las categorías de los sistemas de agua potable según N° de habitantes. Se observa que el 99,12% de los sistemas de agua potable corresponde a la categoría “E”, siendo centros poblados menor a 2.000 habitantes.

**Tabla 17. Categorías de los sistemas de agua potable.**

Categorías	Población	Categoría (N°)	Categoría (%)	Territorialidad
Cat. A	Mayor a 500.000 habitantes	1	0,03%	Eje troncal del País
Cat. B	Entre 50.000 y 500.000 habitantes	4	0,13%	Ciudades capitales, áreas periurbanas y otras ciudades mayores
Cat. C	Entre 10.000 y 50.000 habitantes	4	0,13%	Ciudades intermedias.
Cat. D	Entre 2.000 y 10.000 habitantes	18	0,59%	Ciudades menores y/o municipios.
Cat. E	Menor a 2.000 habitantes	3.024	99,12%	Comunidades concentradas o dispersas.
<b>Total</b>		<b>3.051</b>	<b>100,00%</b>	-

Fuente: Criterio adoptado de Indicadores de desempeño de las EPSA reguladas, AAPS (2016).

- **Categorías de los centros poblados por subcuencas del sistema TDPS**

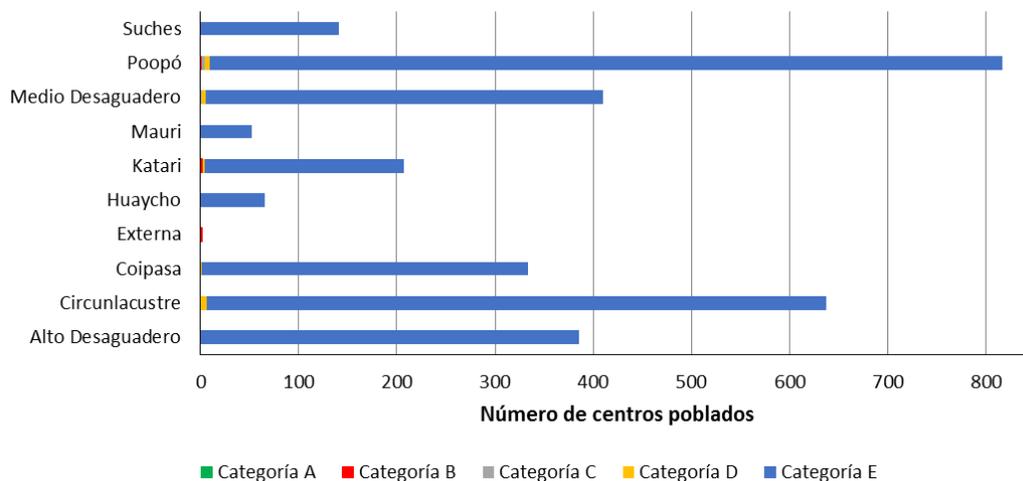
En tabla siguiente se presentan la categoría de los centros poblados por subcuencas del sistema TDPS.

**Tabla 18. Categorías de los centros poblados por subcuencas del sistema TDPS**

ID	Subcuencas	Cat. A	Cat. B	Cat. C	Cat. D	Cat. E	Centros poblados	(%)
1	Alto Desaguadero					386	386	12,65%
2	Circunlacustre				6	631	637	20,88%
3	Coipasa				1	333	334	10,95%
4	Externa		2				2	0,07%
5	Huaycho					65	65	2,13%
6	Katari	1	1		2	203	207	6,78%
7	Mauri					52	52	1,70%
8	Medio Desaguadero			1	4	405	410	13,44%
9	Poopó		1	3	5	808	817	26,78%
10	Suches					141	141	4,62%
	<b>Total general</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>18</b>	<b>3.024</b>	<b>3.051</b>	<b>100,00%</b>

Con ayuda de la Figura 27 se observa que la categoría “E” de centros poblados es dominante en todas las cuencas; la Cuenca Katari y la cuenca del Lago Poopó tiene importantes centros poblados desde la categoría “A” hasta la “D”; dos centros poblados son externos (de la ciudad de La Paz) y reciben por trasvase el suministro de agua del sistema TDPS. Por otra parte, las subcuencas del Lago Poopó y circunlacustre tienen la mayor densidad de centros poblados.

**Figura 28. N° de centros poblados por subcuenca y categoría**



- **Categorías de los centros poblados por municipios**

En la siguiente tabla se presentan los veintisiete (27) centros poblados con categoría desde “A” hasta “D”, siendo con mayor población y por tanto con mayor demanda de agua al año 2020. La Ciudad de El Alto es de categoría “A”, las ciudades de Oruro y Viacha son de categoría “B”. Los municipios de Patacamaya, Challapata, Huanuni, Vinto (Oruro) son de categoría “C”, el resto es de categoría “D” que representa a las capitales de los municipios.

**Tabla 19. Categorías de los centros poblados por municipios del sistema TDPS**

Subcuenca/ municipio	Cat. A	Cat. B	Cat. C	Cat. D	Total general
<b>Circunlacustre</b>				<b>6</b>	<b>6</b>
Achacachi				1	1
Batallas				1	1
Copacabana				1	1
Desaguadero				1	1
Tiawanacu				1	1
Tito Yupanqui				1	1
<b>Coipasa</b>				<b>1</b>	<b>1</b>
Escara				1	1
<b>Externa</b>		<b>2</b>			<b>2</b>
La Paz		2			2
<b>Katari</b>	<b>1</b>	<b>1</b>		<b>2</b>	<b>4</b>
Collana				1	1
Colquencha				1	1
El Alto	1				1
Viacha		1			1
<b>Medio Desaguadero</b>			<b>1</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Patacamaya			1		1
Sica Sica				3	3
Waldo Ballivian				1	1
<b>Poopó</b>		<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>9</b>
Caracollo				1	1
Challapata			1		1
Eucaliptus				1	1
Huanuni			1		1
Machacamarca				1	1
Oruro		1	1		2
Poopó				1	1
Santiago de Huari				1	1
<b>Total general</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>18</b>	<b>27</b>

- **Categorías de los centros poblados por comunidades**

De la misma forma, en el siguiente cuadro se presenta las categorías de los centros poblados con mayor demanda de agua. Debe hacerse notar que el Municipio de La Paz, recibe el suministro de agua del Sistema TDPS en dos zonas de categoría “B”: Sistema Achachicala y Laderas - Sistema El Alto.

**Tabla 20. Categorías de los centros poblados con mayor población y demanda de agua**

N°	Departamento	Municipio	Comunidad	Subcuenca	Población 2020	Categoría
1	La Paz	El Alto	El alto	Katari	1158772	Cat. A
2	La Paz	Viacha	Viacha	Katari	79940	Cat. B
3	Oruro	Oruro	Oruro	Poopó	316668	Cat. B
4	La Paz	La Paz	La Paz - sistema Achachicala	Externa	214015	Cat. B
5	La Paz	La Paz	La Paz - laderas - sistema El Alto	Externa	320965	Cat. B
6	La Paz	Patacamaya	Patacamaya	Medio Desaguadero	12307	Cat. C
7	Oruro	Challapata	Challapata	Poopó	14401	Cat. C
8	Oruro	Huanuni	Huanuni	Poopó	24014	Cat. C
9	Oruro	Oruro	Vinto	Poopó	15824	Cat. C
10	La Paz	Achacachi	Achacachi	Circunlacustre	9681	Cat. D
11	La Paz	Batallas	Batallas	Circunlacustre	2349	Cat. D
12	La Paz	Collana	Collana	Katari	3606	Cat. D
13	La Paz	Colquencha	Colquencha	Katari	3542	Cat. D
14	La Paz	Copacabana	Copacabana	Circunlacustre	5964	Cat. D
15	La Paz	Desaguadero	Desaguadero	Circunlacustre	4904	Cat. D
16	La Paz	Sica Sica	Cala cala	Medio Desaguadero	2311	Cat. D
17	La Paz	Sica Sica	Lahuachaca	Medio Desaguadero	6503	Cat. D
18	La Paz	Sica Sica	Sica Sica	Medio Desaguadero	3473	Cat. D
19	La Paz	Tiawanacu	Huacullani	Circunlacustre	2136	Cat. D
20	La Paz	Tito Yupanqui	Tito yupanqui	Circunlacustre	4815	Cat. D
21	La Paz	Waldo Ballivian	Tumarapi	Medio Desaguadero	2856	Cat. D
22	Oruro	Caracollo	Caracollo	Poopó	5795	Cat. D
23	Oruro	Escara	Escara	Coipasa	2320	Cat. D
24	Oruro	Eucaliptus	Eucaliptus	Poopó	2733	Cat. D
25	Oruro	Machacamarca	Machacamarca	Poopó	3036	Cat. D
26	Oruro	Poopó	Poopo	Poopó	4230	Cat. D
27	Oruro	Santiago de Huari	Santiago de huari	Poopó	5225	Cat. D

#### 4.1.2 Número de habitantes

En la siguiente tabla se presenta el número de habitantes por subcuenca y categoría al 2020.

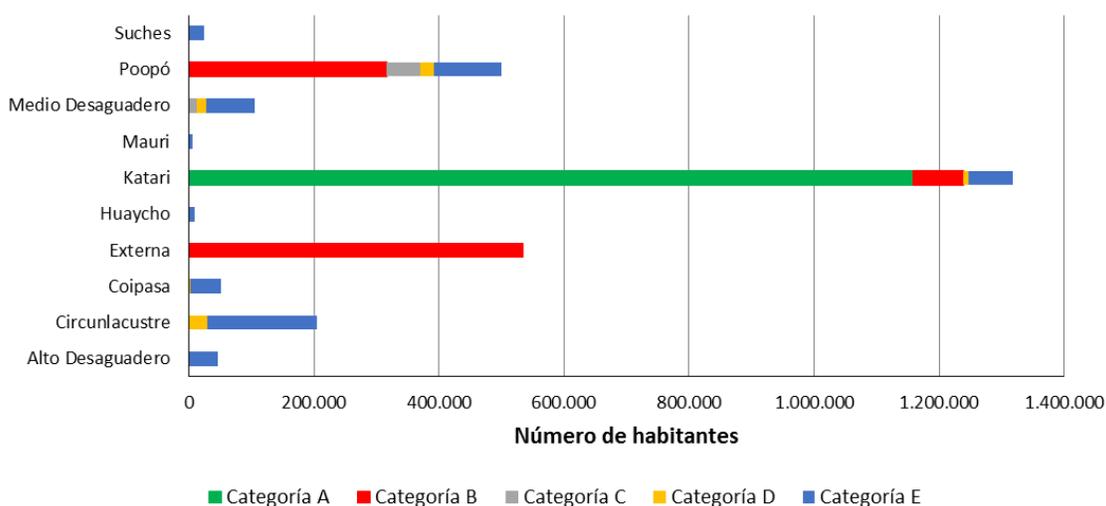
**Tabla 21. Número de habitantes por subcuenca y categoría.**

Subcuencas	Categoría A	Categoría B	Categoría C	Categoría D	Categoría E	Total N° de habitantes
Alto Desaguadero					46.375	46.375
Circunlacustre				29.849	175.284	205.133
Coipasa				2.320	49.599	51.919
Externa		534.980				534.980
Huaycho					9.328	9.328

Katari	1.158.772	79.940		7.148	70.975	1.316.835
Mauri					6.568	6.568
Medio Desaguadero			12.307	15.143	77.547	104.997
Poopó		316.668	54.239	21.019	107.948	499.874
Suches					24.251	24.251
Total general	1.158.772	931.588	66.546	75.479	567.875	2.800.260

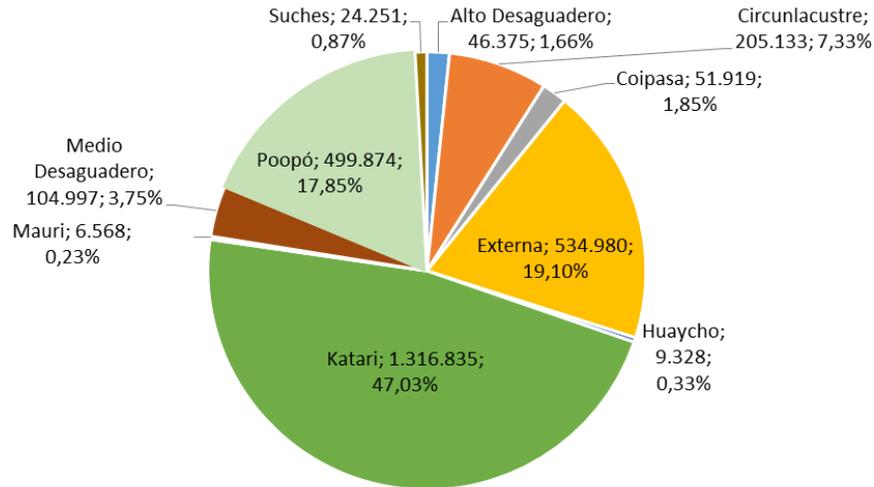
Con el apoyo de la Figura 29 se puede resaltar que la subcuenca Katari tiene la mayor proporción de número de habitantes con categoría “A”; seguidamente las subcuencas externa y Poopó tiene buena proporción de número de habitantes con categoría “B”; las categorías “C” está presente en pequeña proporción en las subcuencas Poopó, Medio Desaguadero, Katari y circunlacustre; la categoría “D” se encuentra en pequeña fracción en las subcuencas Poopó y Medio Desaguadero; todas las cuencas tienen una pequeña fracción de número de habitantes con categoría “E”.

**Figura 29. N° de habitantes por subcuenca y categoría**



En la siguiente figura se presenta el N° de habitantes por subcuenca, en la que se observa que la cuenca Katari tiene la mayor densidad poblacional o conglomerado humano (47,03%) de todo el sistema TDPS, representado principalmente por la Ciudad de El Alto, siendo la segunda ciudad con mayor cantidad de poblacional del país; le sigue una parte de la población externa de la ciudad de La Paz con 19,1% (por efecto de trasvase de agua a la misma), en tercer lugar está la subcuenca Poopó con el 17,85%; el resto de las cuencas tiene una participación menor al 8%.

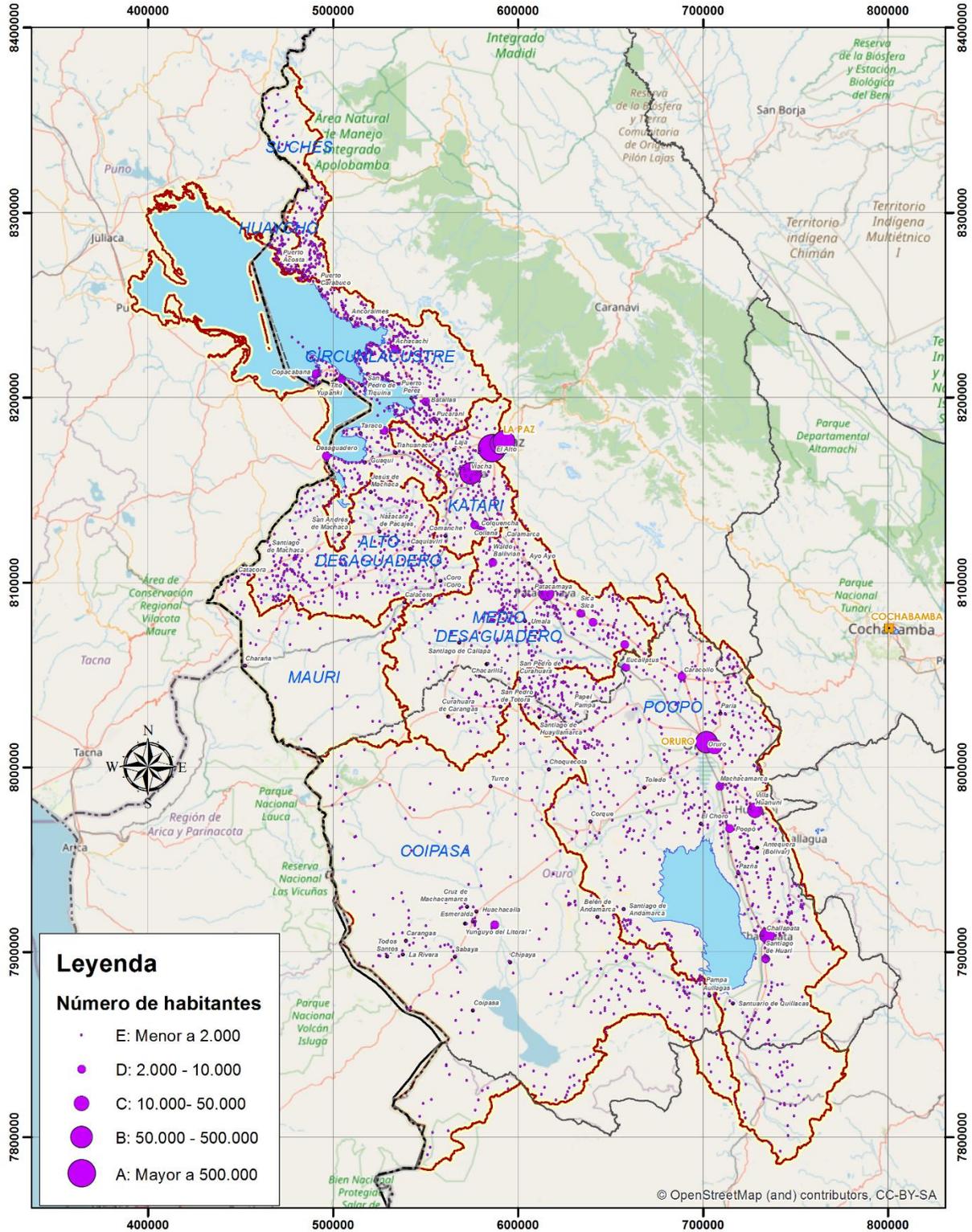
**Figura 30. N° de habitantes (al 2020) por subcuenca del sistema TDPS**



En la siguiente figura 31 se presenta la distribución espacial de habitantes en el sistema TDPS, en la que se pueden apreciar y confirmar las siguientes características:

- Que la densidad de punto de la categoría “E” es muy elevado alcanza las 3.024 poblaciones (99,12%), categoría “D” con 18 poblaciones (0,59%), categoría “C” con 4 poblaciones (0,13%), categoría 2B” con 4 poblaciones (0,13%), categoría “A” con una 1 población (0,03%) es la Ciudad de El Alto.
- La distribución de las 27 poblaciones con categoría desde la “D” hasta la “A”.
- La subcuenca Katari y Poopó tienen las mayores poblaciones.
- Las subcuencas de Mauri y Coipasa tienen una menor densidad de puntos, predominantemente con categoría “E”.
- Las poblaciones con mayor número de habitantes tienen relación con eje troncal de la carretera de El Alto – Potosí.

Figura 31. Distribución del número de habitantes al 2020



### 4.1.3 Demanda de agua para consumo humano

#### Demanda de agua por subcuenca

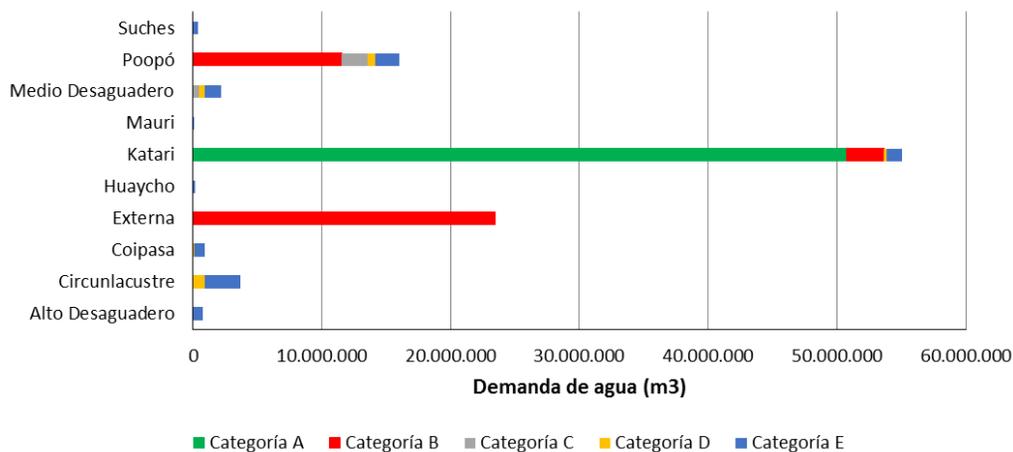
En la siguiente tabla se presenta la demanda de agua por subcuenca y categoría al 2020.

**Tabla 22. Demanda de agua por subcuenca y categoría al 2020 en m<sup>3</sup>.**

Subcuencas	Categoría A	Categoría B	Categoría C	Categoría D	Categoría E	Total (m <sup>3</sup> )
Alto Desaguadero					739.932	739.932
Circunlacustre				871.591	2.822.994	3.694.585
Coipasa				67.744	848.716	916.460
Externa		23.432.124				23.432.124
Huaycho					151.672	151.672
Katari	50.754.214	2.917.810		208.722	1.154.309	55.035.054
Mauri					114.380	114.380
Medio Desaguadero			449.206	442.176	1.277.153	2.168.534
Poopó		11.558.382	1.979.724	613.755	1.846.524	15.998.384
Suches					374.158	374.158
<b>Total (m3)</b>	<b>50.754.214</b>	<b>37.908.316</b>	<b>2.428.929</b>	<b>2.203.987</b>	<b>9.329.838</b>	<b>102.625.283</b>

La Figura 32 se puede visualizar el mismo comportamiento de la Figura 29 en terminos de demanda de agua para consumos humano, esto debido a que la cantidad de habitantes representa directamente la demanda de agua para consumo humano.

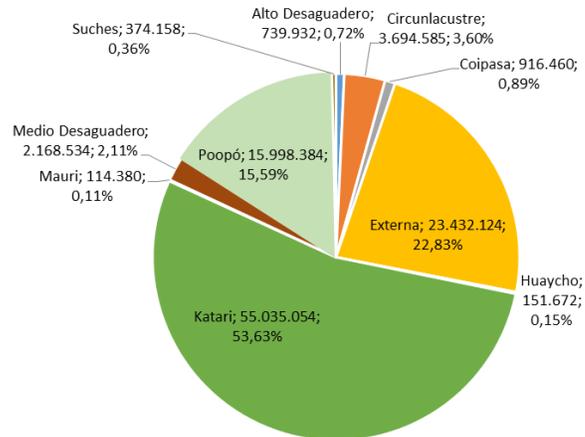
**Figura 32. N° de habitantes por subcuenca y categoría**



En la Figura 33 se muestra la distribución de la demanda anual actual de agua para consumo humano (MMC) por subcuencas. Se observa que la mayor demanda de agua (53,63%) se encuentra en la subcuenca Katari, seguida por la ciudad de La Paz (22,83%) y por la subcuenca

Poopó (15,59%). Las subcuencas Medio Desaguadero y Circunlacustre todavía presenta una demanda importante, aproximadamente 5.71% entre las dos, debido a que se encuentran importantes ciudades intermedias como Patacamaya, Sica Sica, Achacachi, Copacabana y Batallas, entre otros; el resto de las subcuencas tiene una demanda mínima para consumo humano, menor a 1%.

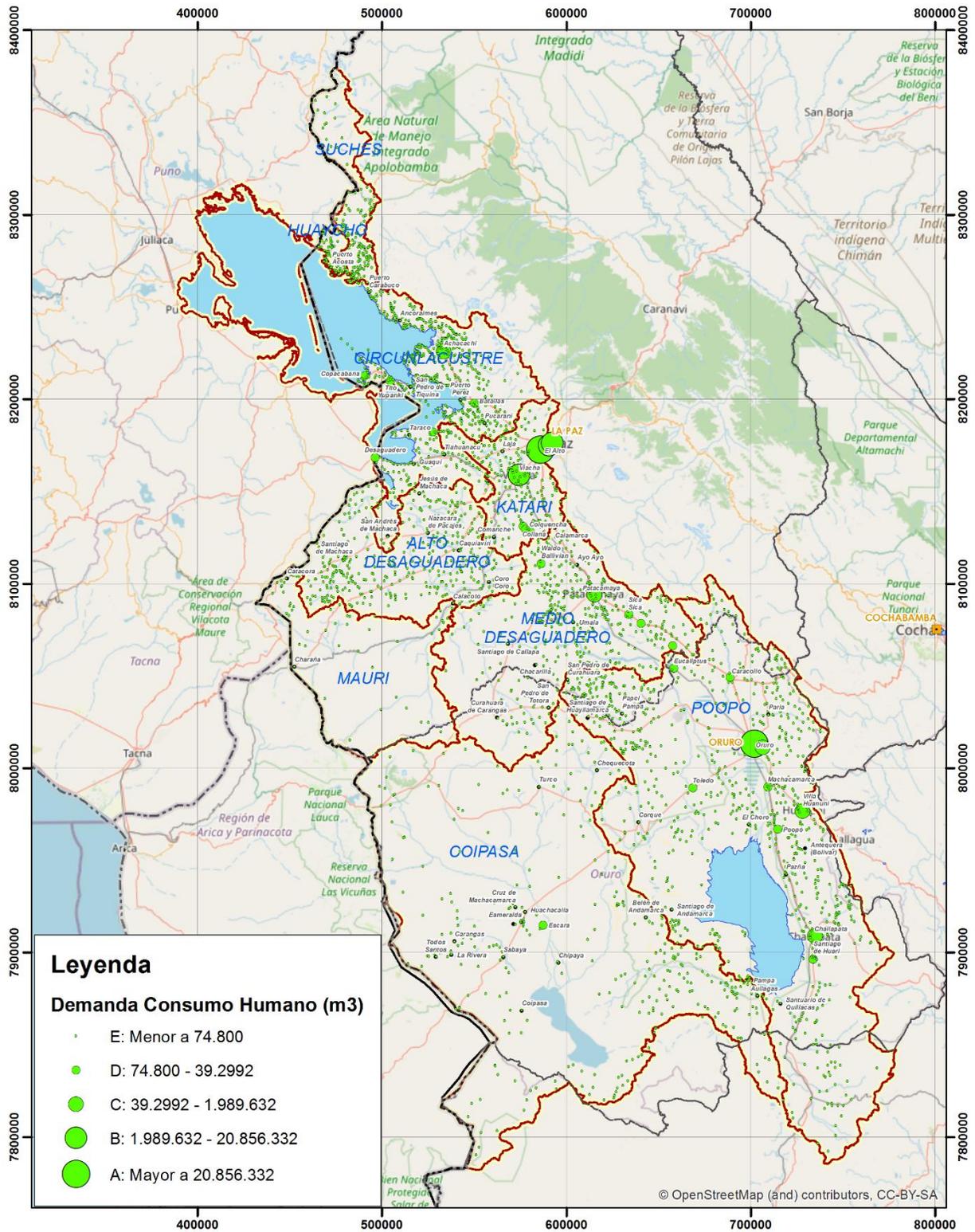
**Figura 33. Distribución de la demanda anual actual de agua para consumo humano (MMC), por subcuencas**



Con base en las categorías de los centros poblados y considerando los volúmenes de agua para consumo humano, en cada uno de ellos, se ha logrado categorizar la demanda de agua de los centros poblados. En este sentido, en la siguiente figura se presenta la distribución espacial de la demanda de agua anual para consumo humano al 2020 en el sistema TDPS. En concordancia con los datos anteriores, se pueden apreciar y verificar las siguientes características:

- Que la densidad de punto de la categoría “E” con demanda menor a 74.800 m<sup>3</sup> es numeroso equivalente al 99%, el resto (menos del 1%) corresponden a las categorías “D” hasta la “A”.
- Son 27 poblaciones con mayor demanda de agua (mayora a 74.800 m<sup>2</sup>), desde la categoría “D” hasta la “A”.
- Se mantiene que las subcuencas Katari y Poopó tienes las mayores demandas de agua para consumo humano, debido a que tienen mayor población.
- Las subcuencas de Mauri y Coipasa tienen una menor densidad de puntos, predominantemente con menor demanda, menor a 74.800 m<sup>3</sup>, debido a que su población dominante es de la categoría “E”.
- Las poblaciones con mayor demanda de agua (mayor a 74.800 m<sup>3</sup>) se encuentran alineadas al eje troncal de la carretera de El Alto – Potosí.

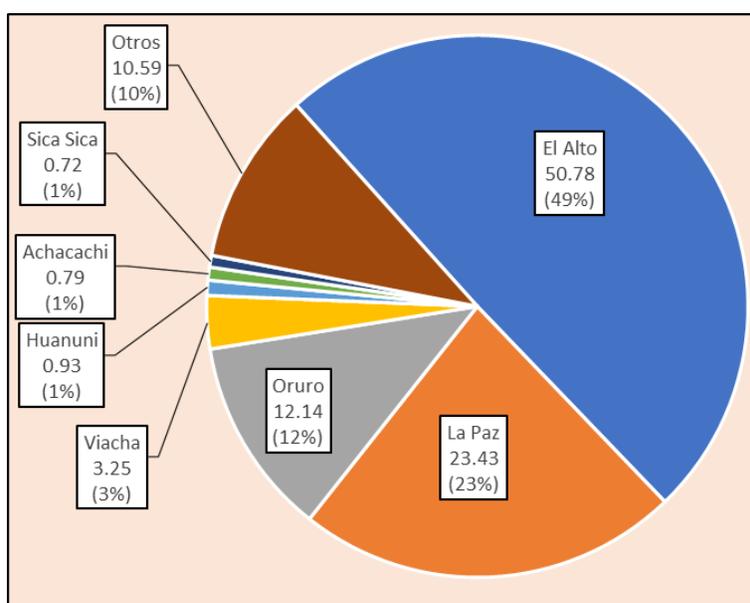
Figura 34. Distribución de la demanda anual de agua para consumo humano al 2020



## Demanda de agua por municipio

En la Figura 35 se muestra la distribución de la demanda anual actual (2020) de agua para consumo humano, en MMC, por municipios. Se observa que el municipio de El Alto representa prácticamente la mitad (49%) de la demanda de agua para consumo humano en el sector boliviano del TDPS, seguido por La Paz, donde se trasvasa una importante cantidad de agua desde fuentes de agua ubicadas en el TDPS (Presas Tuni y Milluni), y por Oruro, con el 12% de la demanda. Entre los 3 municipios representan el 84% de la demanda de agua para consumo humano en el TDPS-Bolivia.

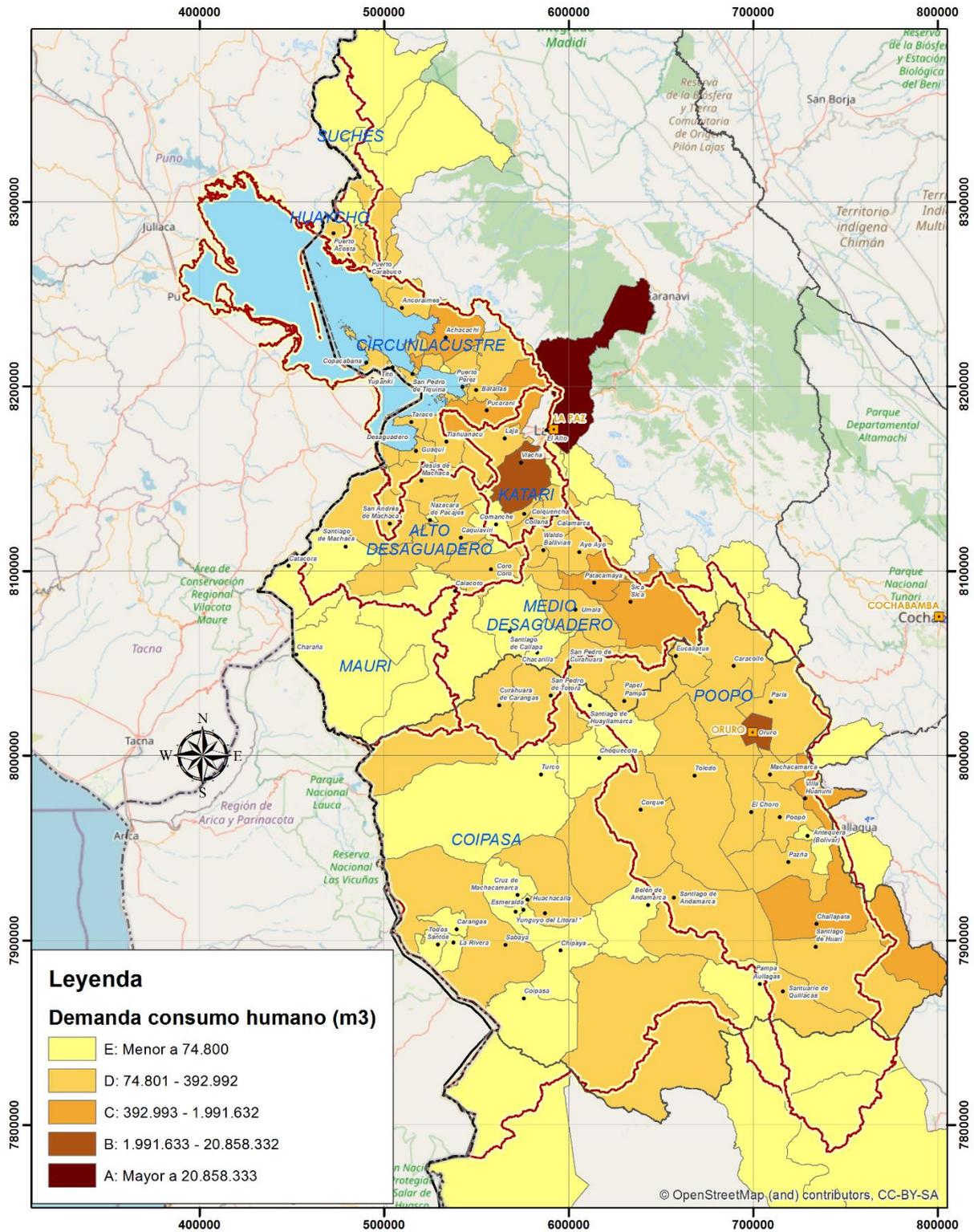
**Figura 35. Distribución de la demanda anual actual de agua para consumo humano (MMC), por municipios**



En la figura 36 se presenta la distribución espacial de la demanda de agua anual por municipios para consumo humano al 2020. Debe hacerse notar que las categorías de “A” a la “E” son adoptadas de la categorización de centros poblados, por tanto son referenciales. En este sentido, se pueden apreciar las siguientes características: a) La demanda de agua de la Ciudad de El Alto es de categoría “A”, asimismo la demanda de agua de trasvase del sistema TDPS a la ciudad de La Paz tiene una categoría equivalente a la categoría “A”; b) El municipio de Oruro y Viacha tienen una demanda de agua equivalentes a la Categoría “B”; c) Se mantiene con categoría “C” los municipios de Huanuni, Challapata, Patacamaya y Achacachi, pero el municipio de Pucarani también tiene una categoría equivalente a “C”; d) Son aproximadamente 45 municipios con demanda de agua con categoría equivalente a “D” entre 74.800 m<sup>3</sup> a 392.992 m<sup>3</sup>.

En términos generales 56 municipios con demanda de agua equivalente a una categoría igual o superior a “D”.

Figura 36. Distribución de la demanda anual de agua para consumo humano por municipios al 2020



#### 4.1.4 Proyecciones de la demanda de agua

##### Proyecciones de la demanda de agua por subcuenca

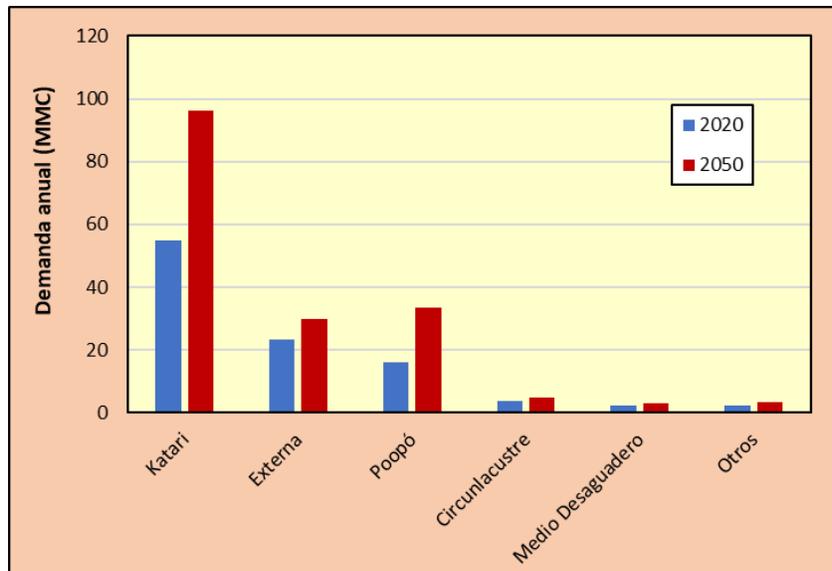
En la Tabla 23 se presenta la demanda anual de agua para consumo humano, en MMC, por subcuencas, actual y proyecciones al 2050. En este caso la proyección geométrica del crecimiento del área metropolitana de la ciudad de El Alto es válida puesto que la misma se encuentra inserta dentro de la cuenca Katari, cuyos límites no se encuentran próximos al área urbana. También se puede apreciar que se reporta una subcuenca denominada “Externa”, la misma que se refiere al trasvase de agua del TDPS a la ciudad de La Paz.

**Tabla 23. Demanda anual de agua para consumo humano (MMC) por subcuencas, actual y proyecciones al 2050**

Subcuenca	2020	2030	2040	2050
Alto Desaguadero	0.74	0.84	0.99	1.07
Circunlacustre	3.69	4.11	5.11	4.96
Coipasa	0.92	1.10	1.68	1.62
Externa*	23.43	25.37	28.59	29.73
Huaycho	0.15	0.16	0.19	0.18
Katari	55.04	66.32	84.12	96.25
Mauri	0.11	0.14	0.17	0.19
Medio Desaguadero	2.17	2.43	2.92	3.07
Poopó	16.00	19.48	24.42	33.34
Suches	0.37	0.41	0.49	0.49
<b>Total</b>	<b>102.63</b>	<b>120.35</b>	<b>148.68</b>	<b>170.87</b>

\*Trasvase a la ciudad de La Paz

**Figura 37. Demanda de agua para consumo, por subcuencas, actual y proyecciones al 2050**



En la figura 37 se muestra la demanda anual de agua para consumo humano (MMC), actual y proyectada a 2050, para las subcuencas con mayor demanda. Si bien la mayor demanda se encuentra en la subcuenca Katari, el mayor crecimiento se prevé en la subcuenca Poopó, con un 108% de incremento hasta 2050, en tanto que el crecimiento de la demanda de agua para consumo humano en la cuenca Katari se estima en 75% y el crecimiento de la demanda de agua de la ciudad de La Paz (subcuenca Externa – trasvase) se estima en 27%, correspondiente a la densificación de las zonas atendidas.

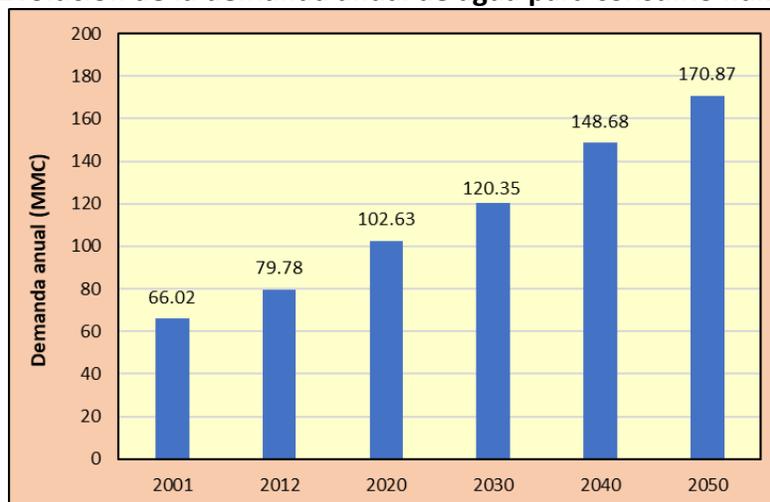
### Proyecciones de la demanda de agua por municipio

En la tabla 24 se presenta la demanda anual de agua para consumo humano, por municipios, en millones de metros cúbicos (MMC), y con proyecciones hasta 2050. Esta tabla considera un crecimiento geométrico de los centros poblados, incluida el área metropolitana de la ciudad de El Alto, sin embargo, como la ciudad ya ha rebasado los límites municipales, una importante parte de este crecimiento se distribuirá a los municipios vecinos de Pucarani, Laja, Viacha y Achocalla. Un análisis más detallado requiere de un estudio demográfico especializado.

**Tabla 24. Demanda anual de agua para consumo humano (MMC) por municipios, actual y proyecciones al 2050**

Municipio	2020	2030	2040	2050
El Alto	50.78	61.20	76.67	88.89
La Paz	23.43	25.37	28.59	29.73
Oruro	12.14	14.97	18.98	27.09
Viacha	3.25	3.93	5.92	5.71
Villa Huanuni	0.93	1.15	1.42	1.75
Achacachi	0.79	0.91	1.05	1.00
Sica Sica	0.72	0.82	0.95	1.08
Otros	10.59	12.00	15.09	15.63
<b>Total</b>	<b>102.63</b>	<b>120.35</b>	<b>148.68</b>	<b>170.87</b>

**Figura 38. Evolución de la demanda anual de agua para consumo humano (MMC)**



En la Figura 38 se muestra la evolución histórica de la demanda total anual de agua en el TDPS-Bolivia, en MMC, desde 2001 hasta 2020, y la proyección decenal hasta 2050. Esta proyección de la demanda considera una restricción en la dotación de agua a un máximo de 120 litros por habitante por día. Se puede observar que la demanda anual de agua para consumo humano aumentará aproximadamente en un 70% desde el presente hasta el 2050, por lo que la gestión del agua en la cuenca es muy importante para garantizar el abastecimiento.

## 4.2 Demanda actividad agrícola

La demanda hídrica del sector riego está representada básicamente por el área bajo riego presente en el sistema TDPS. En ese sentido a continuación se presenta las categorías de las unidades de riego, las áreas agrícolas totales y bajo riego y la demanda de agua para riego.

### 4.2.1 Categorías de las unidades de riego

#### Categoría de las unidades de riego por subcuencas

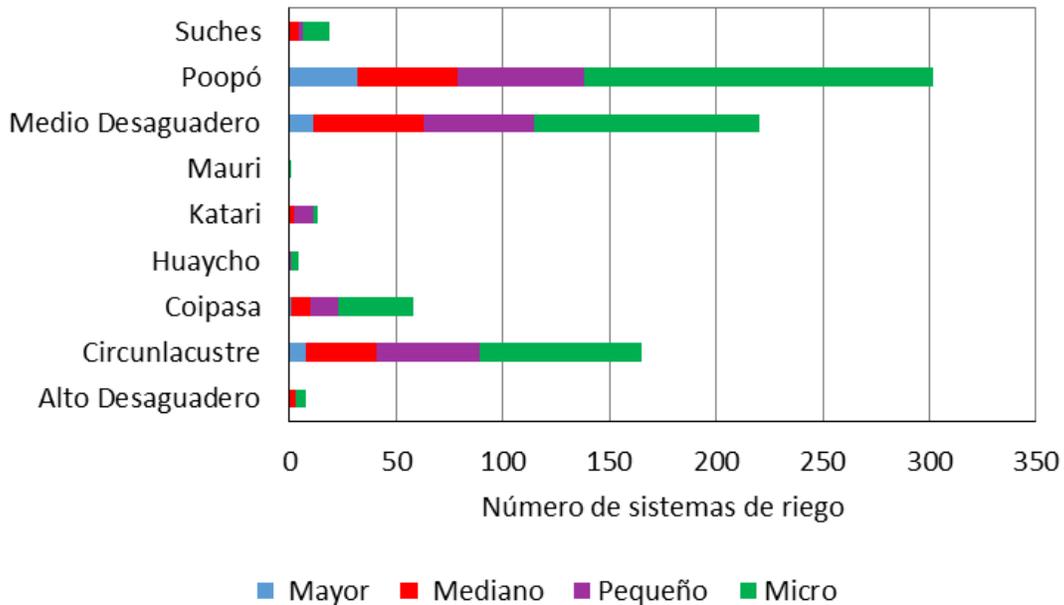
En la siguiente tabla se presentan las categorías de las unidades de riego por subcuencas. En total fueron identificadas 790 unidades de áreas de riego.

**Tabla 25. Categorías de las unidades de riego por subcuencas**

Subcuenca	Mayor (mayor a 500 has)	Medianos (entre 60 y 500 has)	Pequeño (entre 20 y 60 has)	Micro (menor a 20 has)	Total general	En %
Alto Desaguadero		3		5	8	1,0%
Circunlacustre	8	33	48	76	165	20,9%
Coipasa	1	9	13	35	58	7,3%
Huaycho			1	3	4	0,5%
Katari		2	9	2	13	1,6%
Mauri				1	1	0,1%
Medio Desaguadero	11	52	52	105	220	27,8%
Poopó	32	47	59	164	302	38,2%
Suches		4	2	13	19	2,4%
Total general	52	150	184	404	790	100,0%
En %	6,6%	19,0%	23,3%	51,1%	100,0%	

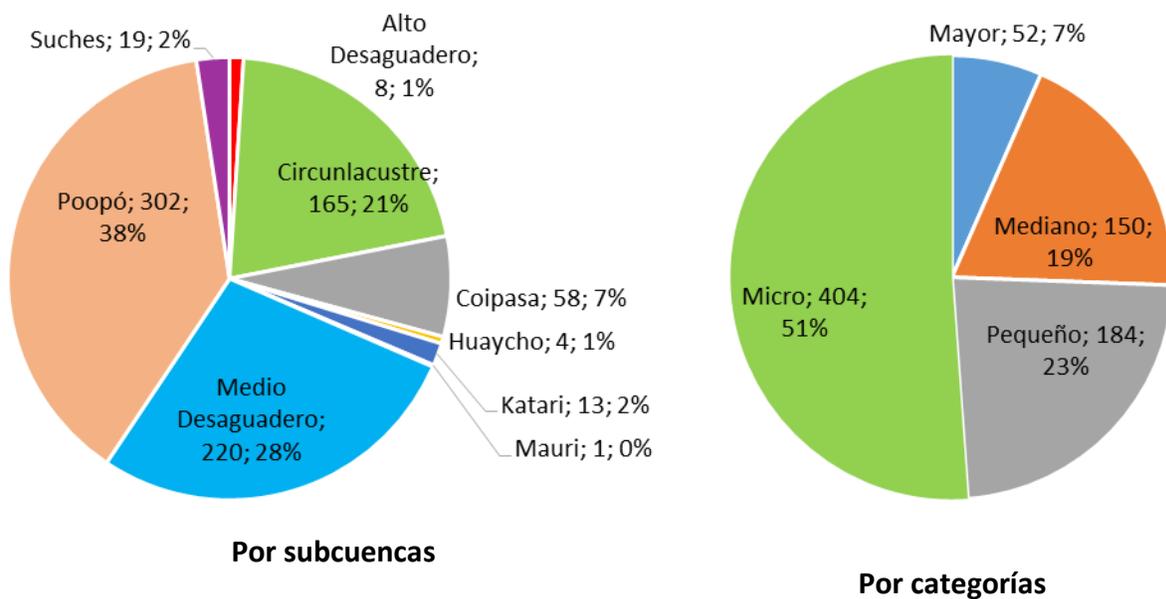
La siguiente figura facilita mostrar que la subcuenca Poopó es la que tiene mayor cantidad de unidades de riego, compuesto por el siguiente orden de categorías: micro, pequeño, mediano, mayor; le siguen las subcuencas Medio Desaguadero, Circunlacustre y Coipasa, en la que las categorías mediana y pequeña son también importantes. La categoría micro, prácticamente dominan en todas las subcuencas, la categoría mayor ocupa una mayor fracción en las subcuencas Poopó y Circunlacustre.

**Figura 39. Número de unidades de riego por subcuencas y categorías.**



En la siguiente figura también se observa que la subcuenca Poopó tiene la mayor cantidad de unidades de riego con 38%, luego le sigue la subcuenca Medio Desaguadero con 28%, Circunlacustre con 21%, Coipasa con 7% y el resto de las subcuencas tiene menos o igual al 2%. También se aprecia que el 51% de las unidades de riego son de la categoría microriego, mientras las categoría riego pequeño y mediano son 23% y 19%, respectivamente, La categoría mayor es el 7%.

**Figura 40. Número de unidades de riego por subcuencas y categorías**



## Categoría de las unidades de riego por municipio

En la siguiente tabla se presenta las categorías de las unidades de riego por municipios. Se observa que existen 40 municipios con unidades de riego de categoría mediana y mayor, mayor a 60 has. Los municipios de El Choro y Toledo tienen unidades de riego mayor o igual a 6 unidades de riego con categoría mayor.

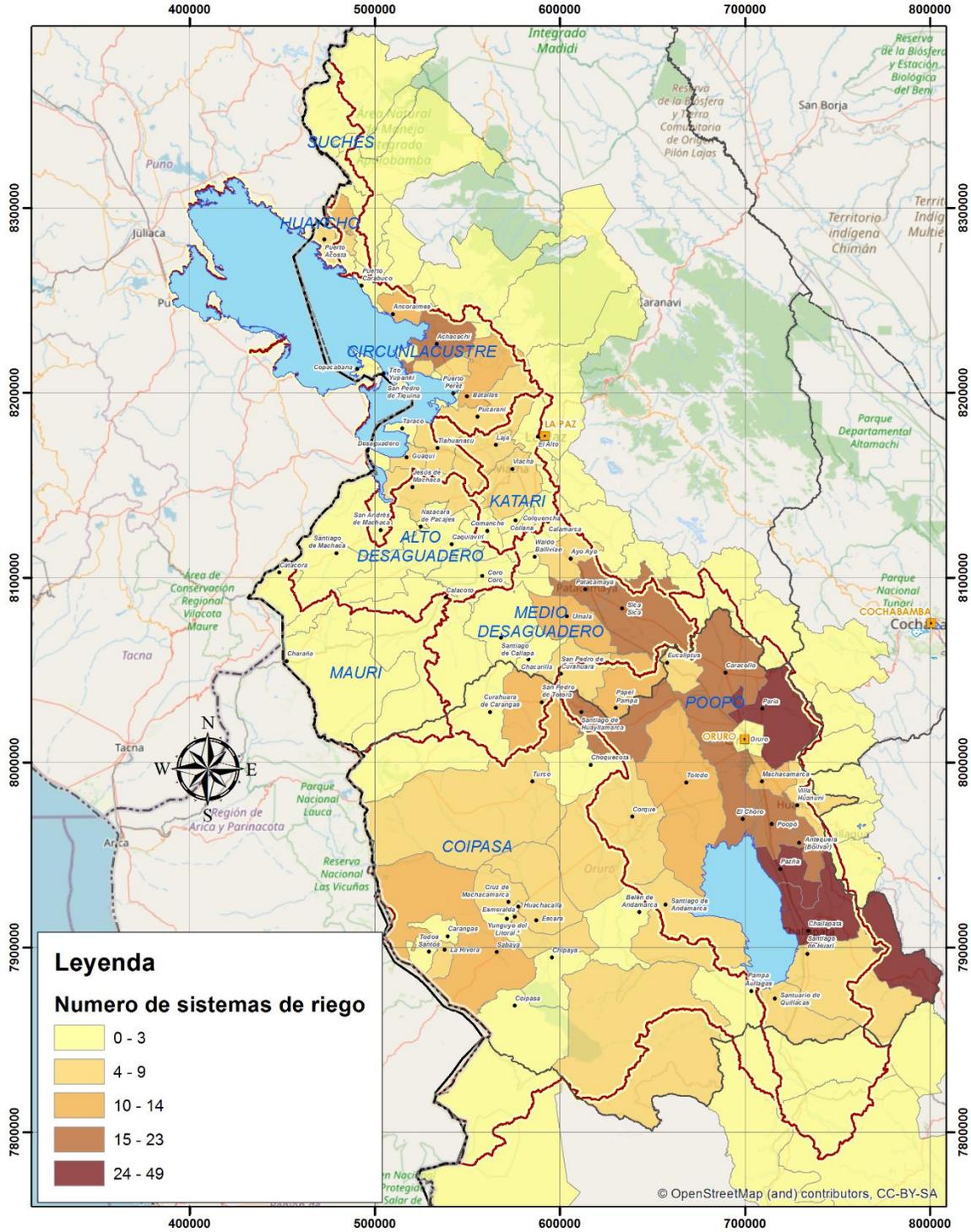
**Tabla 26. Categorías de las unidades de riego por municipio**

Subcuenca	Municipio	N°	Mayor (mayor a 500 has)	Medianos (entre 60 y 500 has)	Pequeño (entre 20 y 60 has)	Micro (menor a 20 has)	Total general	
<b>Alto Desaguadero</b>	Caquiaviri	1				1	1	
	Jesus de Machaca	2		3		4	7	
<b>Circunlacustre</b>	Achacachi	3	3	16	8	6	33	
	Batallas	4	4		10	32	46	
	Chua Cocani	5			4	6	10	
	Copacabana	6			1	2	3	
	Huarina	7		3	5	6	14	
	Laja	8		1	1		2	
	Pucarani	9	1	4	3	1	9	
	Puerto Acosta	10			1	3	4	
	Puerto Carabuco	11				2	2	
	Puerto Mayor de Guaqu	12		4	4		8	
	San Pedro de Tiquina	13			1	2	3	
	Santiago de Huata	14		1	1	2	4	
	Taraco	15			1		1	
	Tiahuanacu	16		1	3	10	14	
	Tito Yupanqui	17				1	1	
	Villa Ancoraimas	18		3	5	3	11	
	<b>Coipasa</b>	Andamarca	19				1	1
		Choquecota	20			1	1	2
Corque		21				1	1	
Cruz de Machacamarca		22	1	1	1		3	
Escara		23		1	1	1	3	
Esmeralda		24			4	3	7	
La Rivera		25		1		4	5	
Sabaya		26		3		7	10	
Salinas de Garci Mend		27			2	6	8	
Todos Santos		28			3		3	
Totora		29				6	6	
Turco	30		3	1	5	9		
<b>Huaycho</b>	Puerto Acosta	31			1	3	4	
<b>Katari</b>	Achocalla	32			1		1	
	Collana	33			1		1	
	Comanche	34			1		1	
	Laja	35		1	2		3	
	Pucarani	36				1	1	
	Viacha	37		1	4	1	6	
<b>Mauri</b>	Catacora	38				1	1	
<b>Medio Desaguadero</b>	Ayo Ayo	39		3	1	8	12	
	Chacarilla	40				1	1	

Subcuenca	Municipio	N°	Mayor (mayor a 500 has)	Medianos (entre 60 y 500 has)	Pequeño (entre 20 y 60 has)	Micro (menor a 20 has)	Total general
	Curahuara de Carangas	41		2	1		3
	Eucaliptus	42	2			2	4
	Huayllamarca	43			1		1
	Papel Pampa	44		21	20	29	70
	Patacamaya	45	2	4	10	20	36
	San Pedro de Curahuar	46	3	8	4	19	34
	Santiago de Callapa	47			1	1	2
	Sicasica	48		6	4	15	25
	Totora	49				2	2
	Umala	50	4	8	10	6	28
	Waldo Ballivian	51				2	2
Poopo	Andamarca	52				7	7
	Antequera	53		1	4	20	25
	Caracollo	54	4	6	4	6	20
	Challapata	55	1	4	14	22	41
	Corque	56			2	5	7
	El Choro	57	16	2	2	6	26
	Huanuni	58		1	3	3	7
	Huayllamarca	59	1	8	2	12	23
	Machacamarca	60	1		1	6	8
	Paria	61		5	11	20	36
	Pazna	62	1	4	5	9	19
	Poopo	63	2	2	4	15	23
	Santiago de Huari	64		9	3	25	37
	Santuario de Quillaca	65		1	3	4	8
Sicasica	66				2	2	
Toledo	67	6	4	1	2	13	
Suches	Charazani	68				1	1
	Escoma	69		1			1
	Humanata	70		3	2	10	15
	Mocomoco	71				2	2
<b>Total general</b>		<b>71</b>	<b>52</b>	<b>150</b>	<b>184</b>	<b>404</b>	<b>790</b>

En la siguiente figura se ilustra la distribución espacial del número de unidades de riego por municipio, en la que se pueden corroborar que los municipios de la subcuenca Poopó tiene mayor número de unidades de riego; le siguen Circunlacustre y Medio desaguadero; los mismos municipios concentran también unidades de riego de la categoría mediana y mayor. Los municipios de las subcuenca Coipasa no cuentan con unidades de riego de la categoría mayor.

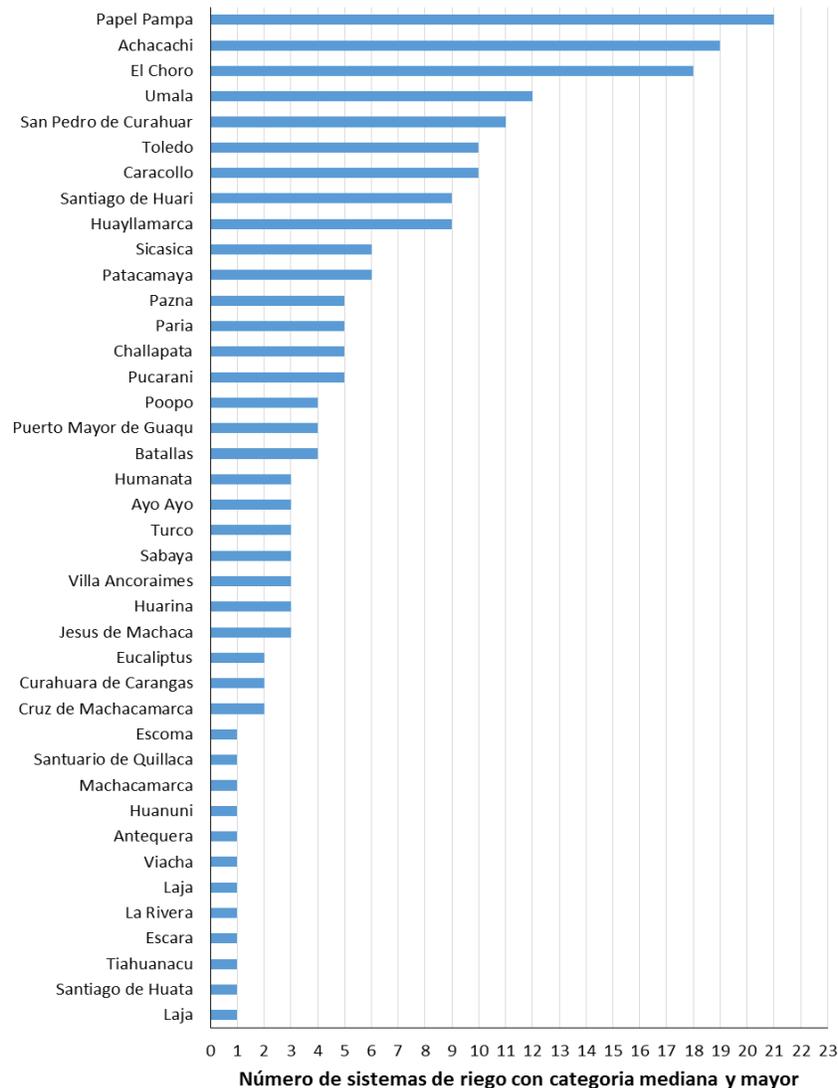
Figura 41. Número de unidades de riego por municipio



Fuente: Elaboración propia

Asimismo, en la siguiente figura se encuentran los municipios con más de un sistema de riego de la categoría mediana y mayor, siendo el más alto, los municipios de Papel Pampa, Achacachi, El Choro, Umala, entre otros.

**Figura 42. Municipios con uno o más sistema de riego con categorías mediana y mayor.**



#### 4.2.2 Áreas agrícolas totales y áreas bajo riego

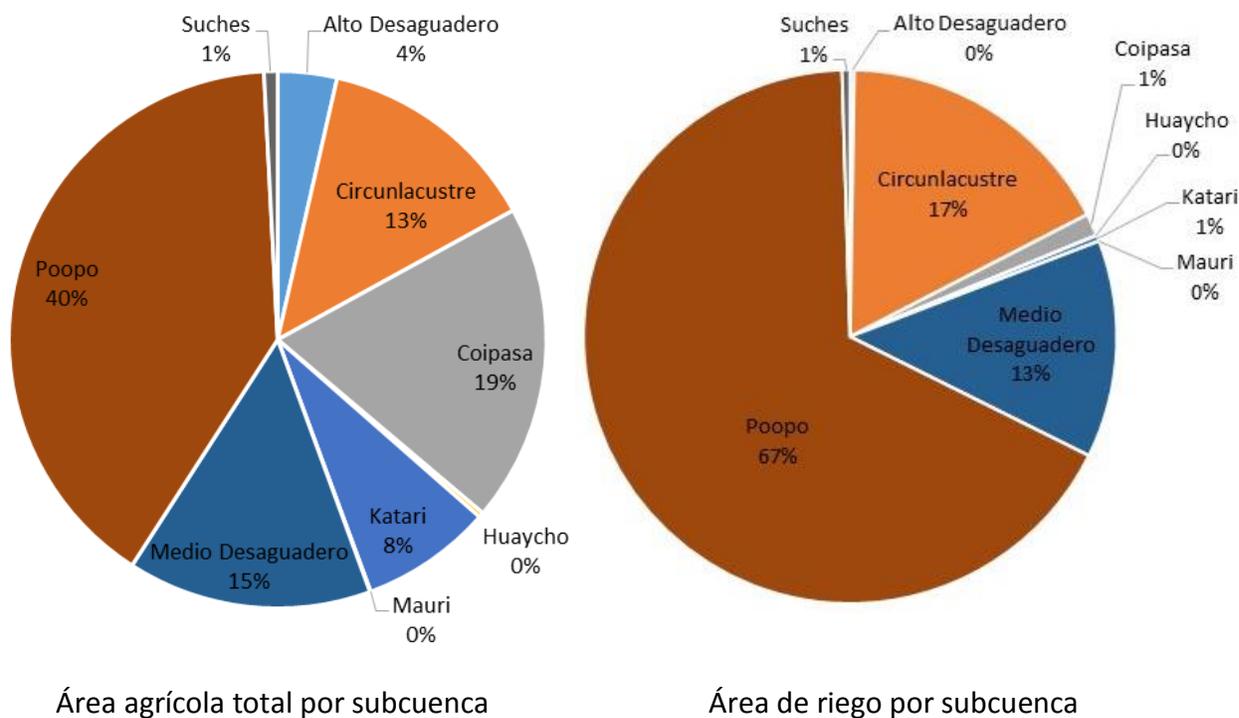
En el presente estudio se logró digitalizar las áreas bajo riego, según la metodología descrita en la sección 3.1, por otro lado, con ayuda de imagen satelital del Google Earth se logró digitalizar áreas agrícolas a secano. Considerando estos datos en la siguiente tabla se presentan el área agrícola total y el área bajo riego; la última columna nos indica que los mayores porcentajes de área de riego en relación con su área agrícola total están en las subcuencas Poopó (26,19%), Circunlacustre (19,99%) y Medio Desaguadero (14,02%), el resto reportaron áreas con riego menor a 10%. En general, aproximadamente sólo el 15,63% del área agrícola total es bajo riego.

**Tabla 27. Área agrícola total y el área bajo riego**

Subcuenca	Área agrícola		Área de riego		Área bajo riego (%)
	has	%	has	%	
Alto Desaguadero	44.199	3,56%	476	0,25%	1,08%
Circunlacustre	166.654	13,44%	33.311	17,19%	19,99%
Coipasa	237.759	19,17%	2.622	1,35%	1,10%
Huaycho	3.731	0,30%	45	0,02%	1,21%
Katari	97.879	7,89%	689	0,36%	0,70%
Mauri	595	0,05%	13	0,01%	2,19%
Medio Desaguadero	182.251	14,70%	25.553	13,18%	14,02%
Poopó	496.897	40,07%	130.152	67,15%	26,19%
Suches	10.105	0,81%	952	0,49%	9,42%
<b>Total general</b>	<b>1.240.070</b>	<b>100,00%</b>	<b>193.813</b>	<b>100,00%</b>	<b>15,63%</b>

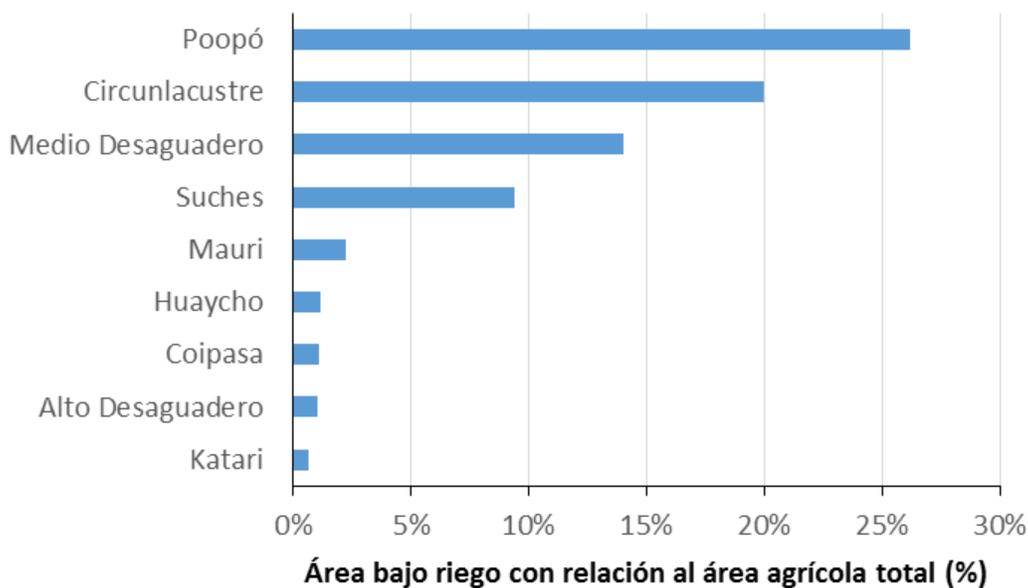
Con relación al área agrícola total por cuenca, en la siguiente figura se puede apreciar cuatro subcuencas dominantes con áreas agrícolas: Poopó, Coipasa, Medio Desaguadero y Circunlacustre. En cuanto al área bajo riego por cuenca, se pueden apreciar tres subcuencas dominantes con áreas bajo riego: Poopó, Circunlacustre y Medio Desaguadero.

**Figura 43. Área agrícola total y área bajo riego por subcuenca del sistema TDPS**



En la siguiente figura se presentan las áreas bajo riego con relación a las áreas agrícolas totales, se puede apreciar dos subcuencas con mayor área agrícolas bajo riego: Poopó y Circunlacustre. Debe hacerse notar en primer lugar que la Subcuenca del Poopó cuenta con mayor área agrícola, mayor área bajo riego y representa aproximadamente el 26,2%; en segundo lugar, la subcuenca Circunlacustre tiene una razonable área agrícola total y área bajo riego, también con un buen uso de suelo destinado al riego (20%); en tercer lugar está la subcuenca de Medio Desaguadero que destina el 14% de sus suelos agrícolas bajo riego.

**Figura 44. Área bajo riego con relación al área agrícola total por subcuenca del sistema TDPS**

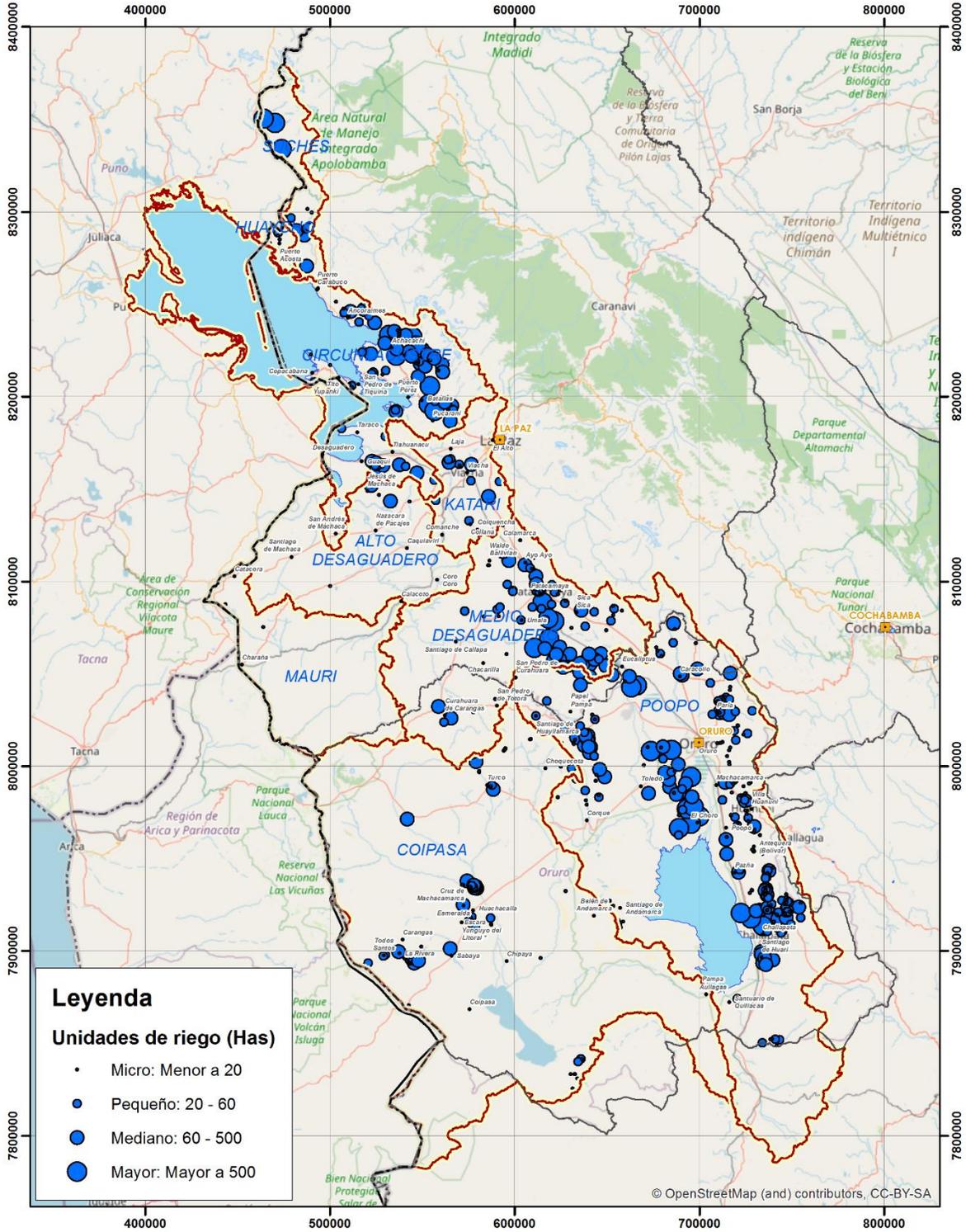


Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura se presenta la distribución espacial de las unidades de riego por categorías, adoptando los criterios de categorización aplicados en el Inventario Nacional de Sistemas de Riego (2012). En este sentido, se pueden apreciar y verificar las siguientes características:

- Existe 52 unidades de riego (6,6%) con categoría mayor distribuido principalmente en las subcuencas Poopó, Circunlacustre, Medio Desaguadero y Coipasa.
- Las unidades de riego con categoría mediana son 150 (19,0%) está asentada principalmente en las siguientes subcuencas Poopó, Circunlacustre y Medio Desaguadero.
- En general el 24% de las unidades de riego son pequeños y el 51% son microrriegos se encuentran distribuidas en todas las subcuencas.

Figura 45. Distribución del área de riego en ha



Fuente: Elaboración propia con base en los criterios de categorización del Inventario Nacional de Sistemas de Riego 2012

En la siguiente tabla se presentan las áreas bajo riego en has por subcuencas y categorías, en la que se puede verificar que el área total de riego es de 193.813 has.

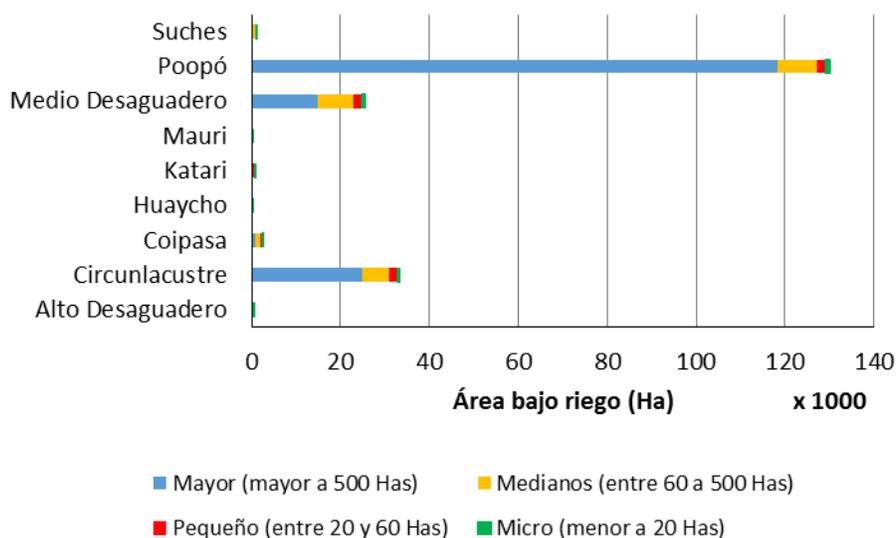
**Tabla 28. Áreas bajo riego en ha por subcuencas y categorías**

Subcuencas	Mayor (mayor a 500 ha)	Medianos (entre 60 a 500 ha)	Pequeño (entre 20 y 60 ha)	Micro (menor a 20 ha)	Total general	En %
Alto Desaguadero		432		44	476	0,25%
Circunlacustre	24.854	6.188	1.677	593	33.311	17,19%
Coipasa	789	1.177	438	218	2.622	1,35%
Huaycho			21	24	45	0,02%
Katari		319	336	33	689	0,36%
Mauri				13	13	0,01%
Medio Desaguadero	14.863	8.174	1.830	687	25.553	13,18%
Poopó	118.378	8.709	2.048	1.017	130.152	67,15%
Suches		758	86	107	952	0,49%
<b>Total general</b>	<b>158.883</b>	<b>25.758</b>	<b>6.436</b>	<b>2.736</b>	<b>193.813</b>	<b>100,00%</b>
En %	82,0%	13,3%	3,3%	1,4%	100,0%	

Fuente: Elaboración propia con base en los criterios de categorización del Inventario Nacional de Sistemas de Riego 2012

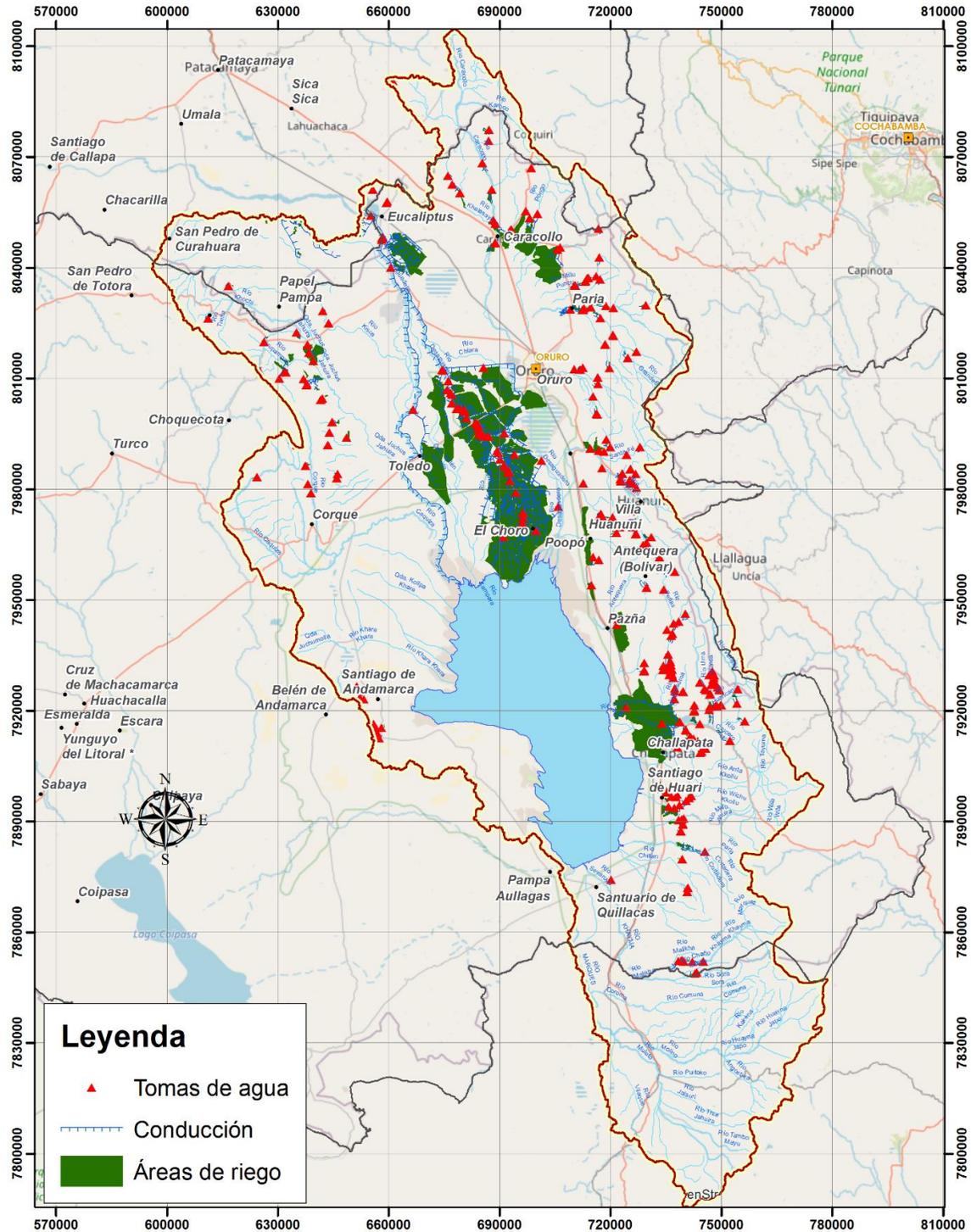
La siguiente figura nos permite visibilizar que las subcuencas de Poopó y Circunlacustre tienen la mayor cantidad de áreas bajo riego, debido a sus sistemas de riego con categoría mayor, le siguen las subcuencas de Medio Desaguadero. El área de riego con categorías pequeña y micro no tiene mucho significado o impacto en términos de área bajo riego, a pesar que fueros dominantes en términos de números de unidades de riego, ilustrados en la Figura 38.

**Figura 46. Áreas bajo riego por subcuencas y categorías**



En la siguiente figura se ilustra la distribución espacial de las áreas bajo riego en la subcuenca Poopó.

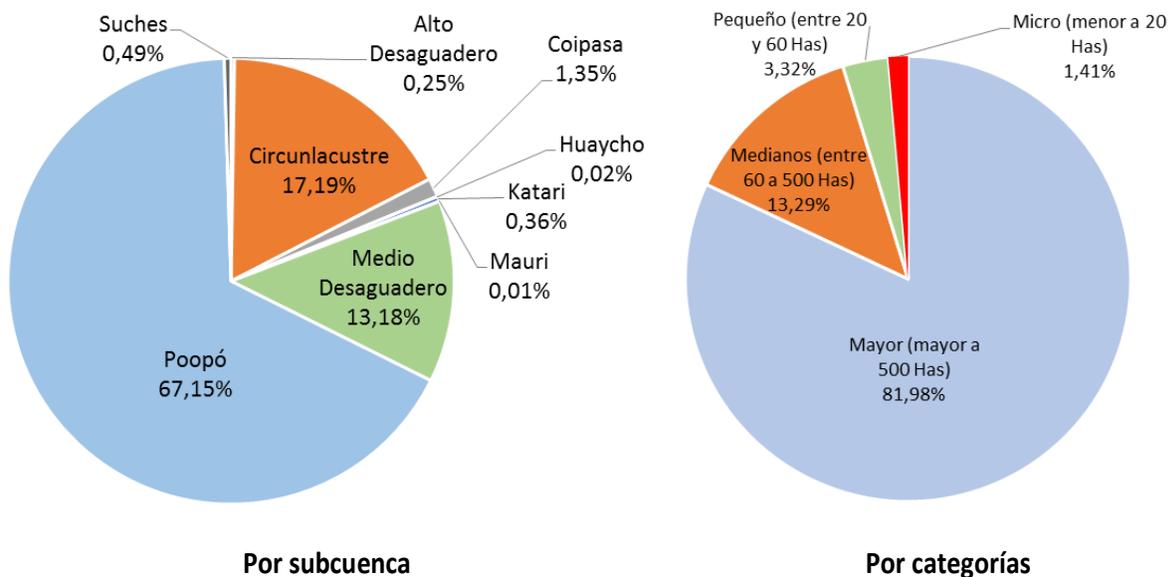
**Figura 47. Áreas bajo riego en has, subcuenca Poopó**



Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura se puede corroborar que la subcuenca del Poopó, Circunlacustre y Medio Desaguadero son las que tienen mayor área bajo riego con 67,15%, 17,19% y 13,18%, respectivamente. También se puede resaltar que la categoría mayor es dominante con 81,98% de participación, le sigue la categoría mediana con 13,29%, el resto de las categorías tienen una participación menor 4%.

**Figura 48. Áreas bajo riego por subcuencas y categorías**



### Área bajo riego por municipio

En la siguiente figura se presenta la distribución espacial del área bajo riego por municipios en has, se pueden corroborar que los municipios de las subcuencas Poopó, Circunlacustre y Medio Desaguadero tienen una superficie mayor a 500 has. Las subcuencas de Coipasa y Alto Desaguadero, prácticamente el área total bajo riego por municipio es bajo oscila entre 100 a 500 has.

Figura 49. Distribución del área bajo riego por municipios en ha

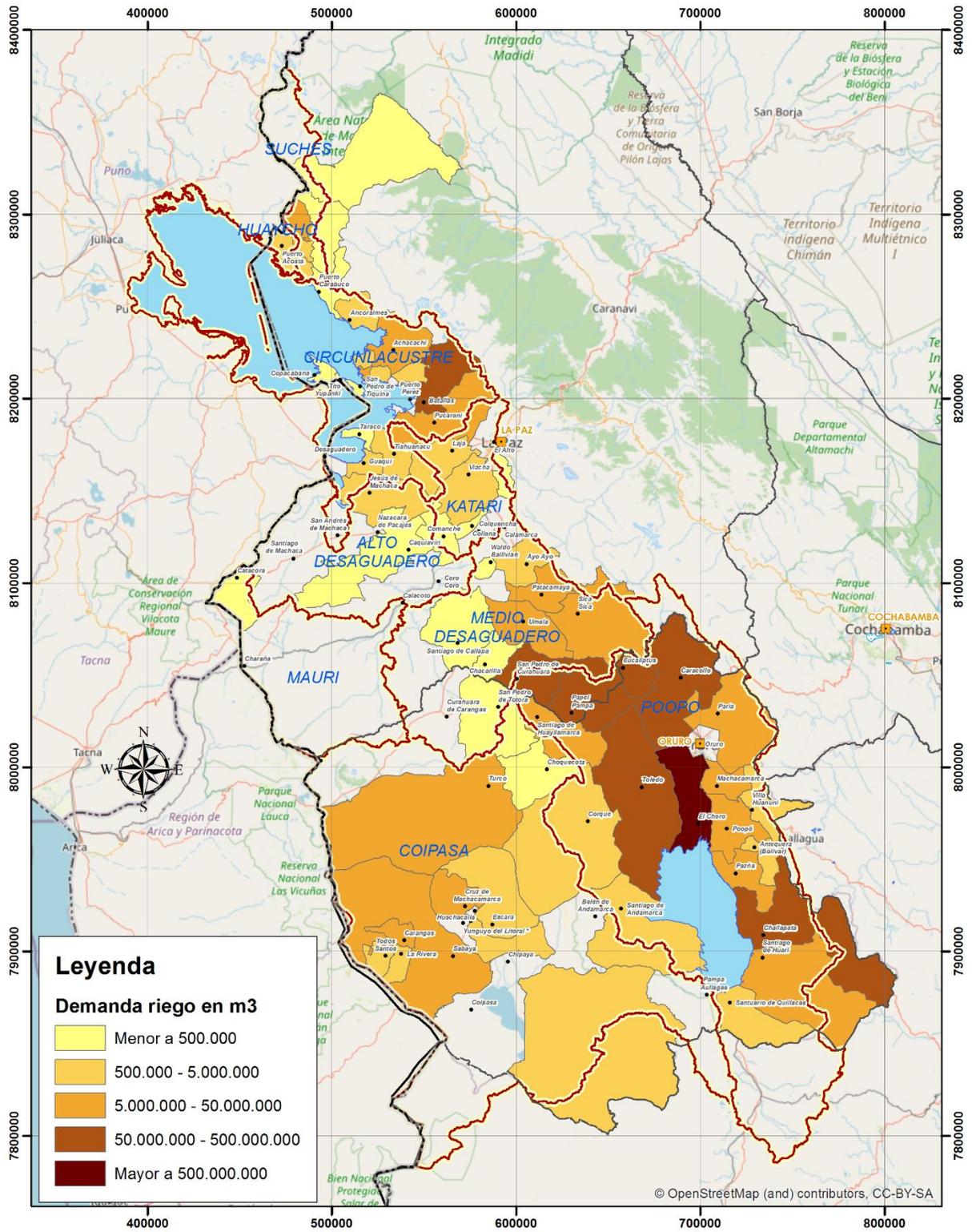
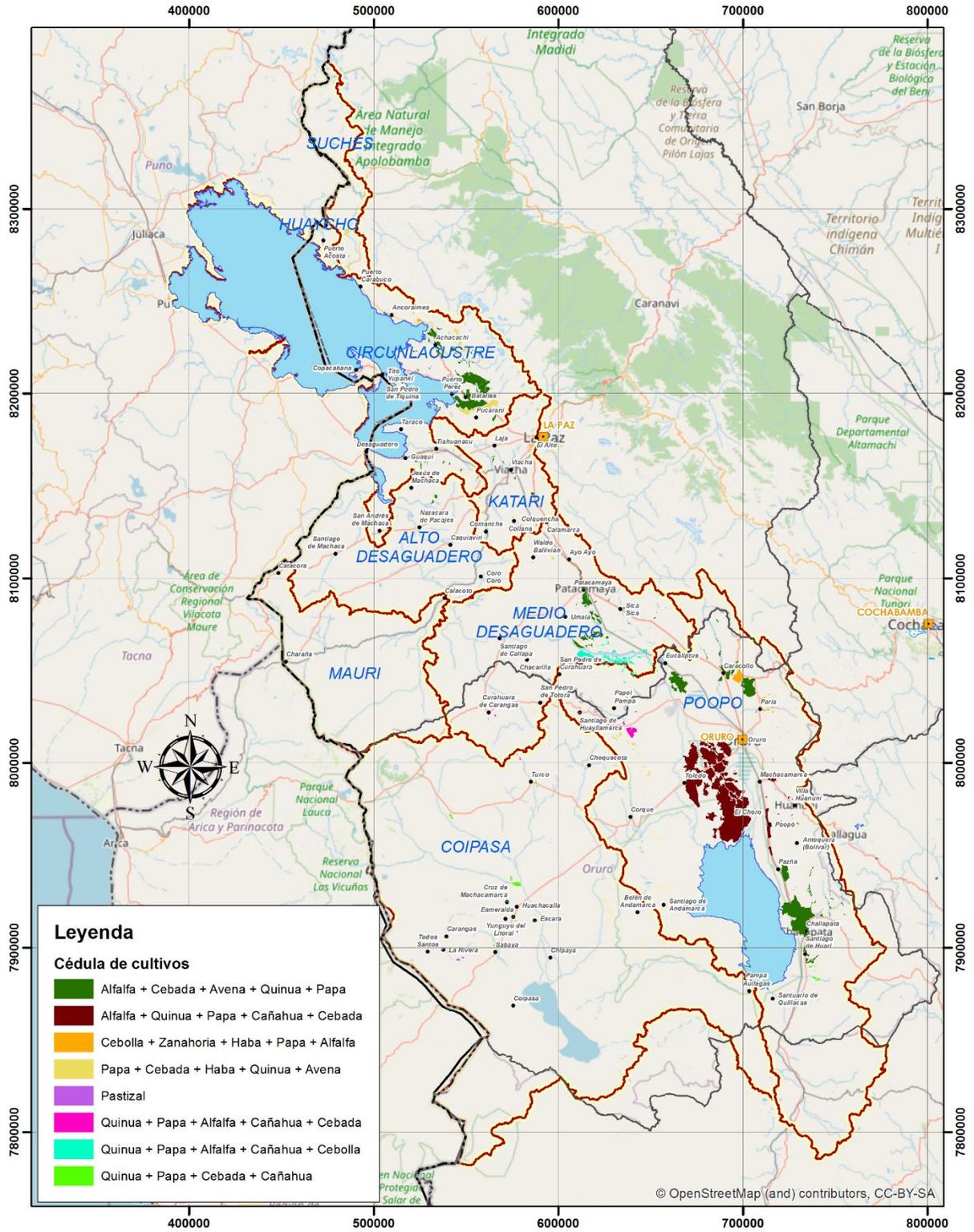


Figura 50. Zonificación de la cédula de cultivos



### 4.2.3 Zonificación de la cédula de cultivos

En el sistema TDP se pudo identificar una diversidad de cultivos, los mismo fueron zonificados por grupos de sistemas de producción denominados cédula de cultivos, a partir de los formularios de campo, Censo Nacional Agropecuario, PTDIs municipales entre otras observaciones directas durante el trabajo de campo. En las partes altas de las cuencas por encima de los 4.000 msnm es frecuente el riego de los pastos naturales con la finalidad de potenciarlos para la alimentación del ganado camélido. Entre los 3800 y 4000 msnm, la agricultura se centra en la producción de papa, cebada, oca y haba. En los pies de monte, y valles abrigados a una altura aproximada de 3.800 msnm se opta por cultivos de cebolla, zanahoria, habas y papa. En las zonas de llanura del altiplano, donde existe agua suficiente, se opta por productos de mayor valor como la alfalfa y la avena, acompañados de papa y cebada, los primeros orientados a solventar el requerimiento de forraje para el ganado bobino. En el sector sur de la cuenca, es importante el cultivo de quinua.

En la siguiente tabla se presenta ocho cédulas de cultivo que representan las zonas de sistemas de producción bajo riego, alcanza un área total de 193.813,06 has.

**Tabla 29. Zonificación de la cédula de cultivo**

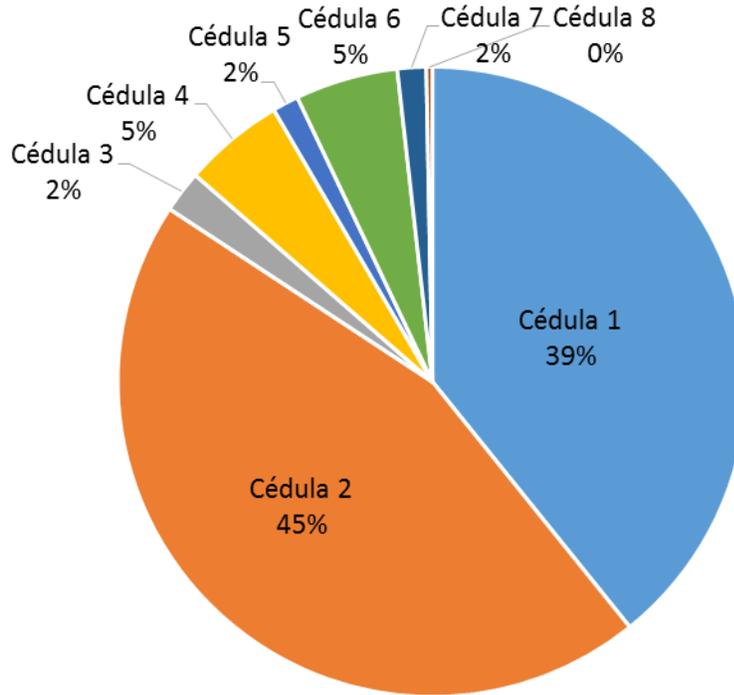
Subcuencas	Cédula 1	Cédula 2	Cédula 3	Cédula 4	Cédula 5	Cédula 6	Cédula 7	Cédula 8	Total (has)
Alto Desaguadero	473,27							2,50	475,78
Circunlacustre	25.790,80		304,69	7.215,90					33.311,39
Coipasa					107,82		1.926,39	587,46	2.621,66
Huaycho				45,14					45,14
Katari	603,72		23,14	61,74					688,59
Mauri								13,29	13,29
Medio Desaguadero	14.383,87		135,42	348,32	456,96	10.228,76			25.553,32
Poopó	34.731,77	87.299,72	3.702,51	1.441,50	2.041,80		934,84		130.152,13
Suches				951,76					951,76
Total general	75.983,43	87.299,72	4.165,75	10.064,35	2.606,57	10.228,76	2.861,23	603,25	193.813,06

Referencias:

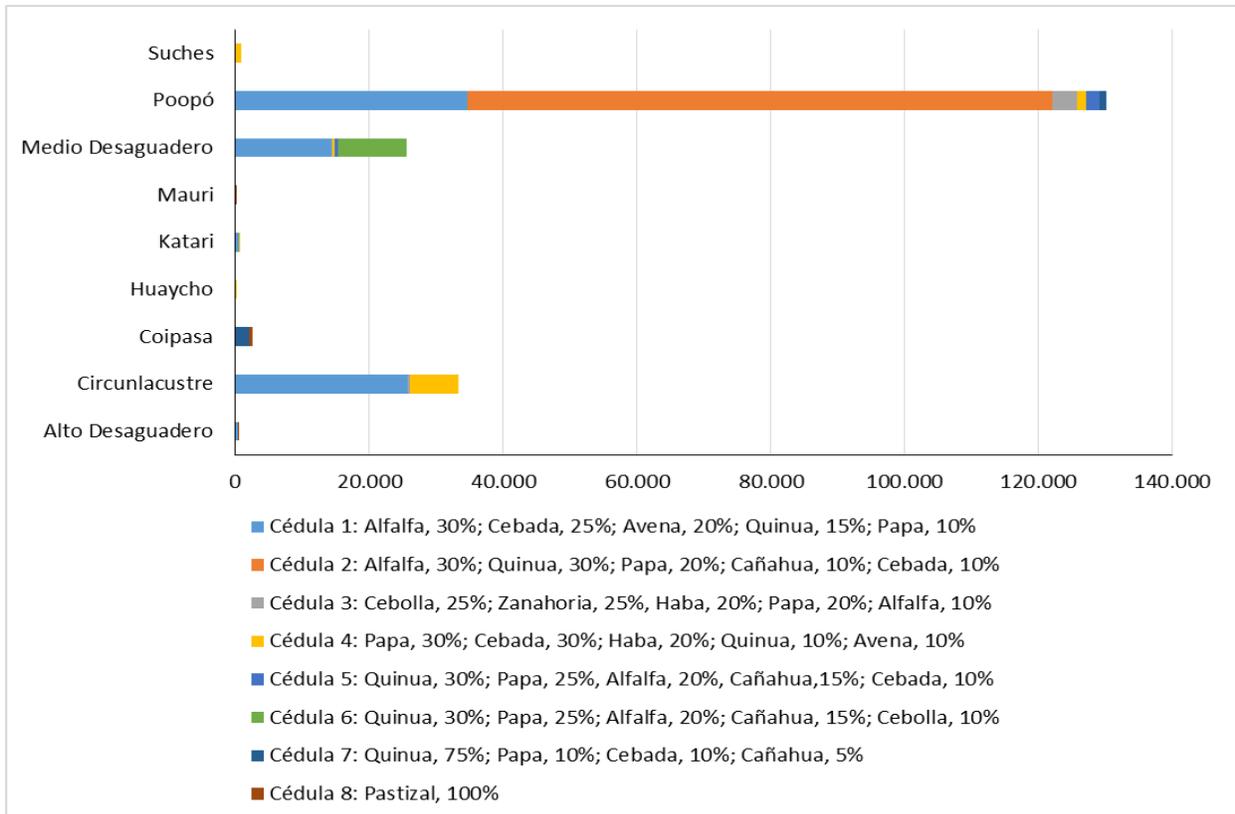
Cédula 1: Alfalfa, 30%; Cebada, 25%; Avena, 20%; Quinua, 15%; Papa, 10%  
 Cédula 2: Alfalfa, 30%; Quinua, 30%; Papa, 20%; Cañahua, 10%; Cebada, 10%  
 Cédula 3: Cebolla, 25%; Zanahoria, 25%; Haba, 20%; Papa, 20%; Alfalfa, 10%  
 Cédula 4: Papa, 30%; Cebada, 30%; Haba, 20%; Quinua, 10%; Avena, 10%  
 Cédula 5: Quinua, 30%; Papa, 25%; Alfalfa, 20%; Cañahua, 15%; Cebada, 10%  
 Cédula 6: Quinua, 30%; Papa, 25%; Alfalfa, 20%; Cañahua, 15%; Cebolla, 10%  
 Cédula 7: Quinua, 75%; Papa, 10%; Cebada, 10%; Cañahua, 5%  
 Cédula 8: Pastizal, 100%

La siguiente figura ilustra que en el sistema TDPS son dominantes la cédula 1 y cédula 2, ambos forrajeros.

**Figura 51. Composición de la cédula de cultivo del sistema TDPS**



**Figura 52. Composición de la cédula de cultivos por subcuencas**



En la figura 52 se puede apreciar que la subcuenca Poopó, Medio Desaguadero y Circunlacustre son dominantes en sistemas de producción forrajera con cédula 1 y cédula 2. La subcuenca Coipasa se destaca como productora de quinua (cédula 7), le siguen las subcuencas Poopó y Medio Desaguadero con cédula 5 y cédula 6, respectivamente. En la mayoría de las subcuencas se dedican a la producción de papa, siendo notablemente con cedula 4 las subcuencas Circunlacustre y Suches.

#### 4.2.4 Demanda de agua para riego en volumen

##### Demanda de agua por subcuenca en volumen

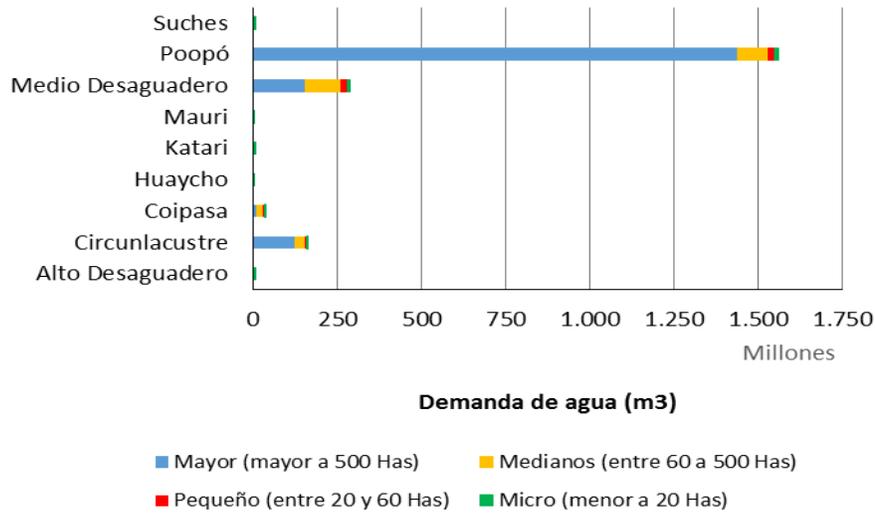
En la siguiente tabla se presenta la demanda de agua en m<sup>3</sup> por subcuencas y categorías, en la que se puede verificar que el volumen de demanda total de agua es de 2.059.480.703 m<sup>3</sup>.

**Tabla 30. Demanda de agua en m<sup>3</sup> por subcuencas y categorías**

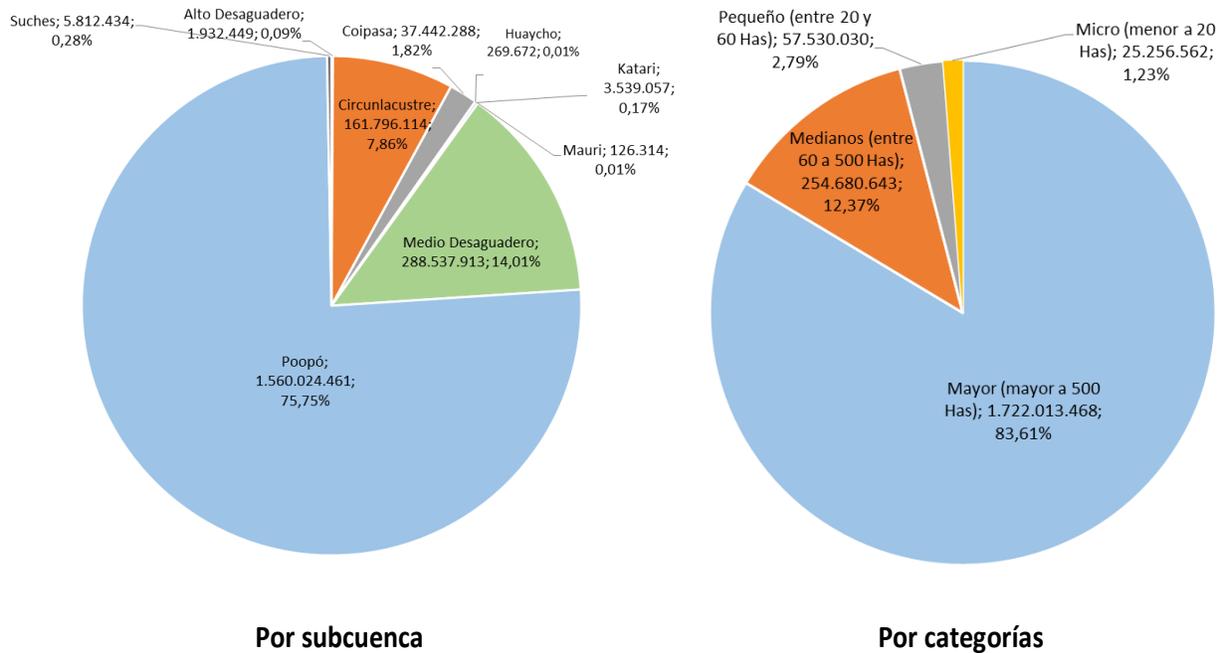
Subcuencas	Mayor (mayor a 500 has)	Medianos (entre 60 a 500 has)	Pequeño (entre 20 y 60 has)	Micro (menor a 20 has)	Total general	En %
Alto Desaguadero		1.702.121		230.328	1.932.449	0,1%
Circunlacustre	121.905.475	30.320.458	7.046.487	2.523.694	161.796.114	7,9%
Coipasa	10.377.648	17.997.596	5.929.885	3.137.159	37.442.288	1,8%
Huaycho			126.755	142.917	269.672	0,0%
Katari		1.740.063	1.655.628	143.366	3.539.057	0,2%
Mauri				126.314	126.314	0,0%
Medio Desaguadero	153.595.491	105.522.369	21.542.163	7.877.890	288.537.913	14,0%
Poopó	1.436.134.854	92.746.046	20.699.850	10.443.710	1.560.024.461	75,7%
Suches		4.651.990	529.261	631.183	5.812.434	0,3%
Total general	1.722.013.468	254.680.643	57.530.030	25.256.562	2.059.480.703	100,0%
En %	83,6%	12,4%	2,8%	1,2%	100,0%	

Con ayuda de la figura 53 se puede constatar que las subcuencas de Poopó, Medio Desaguadero y Circunlacustre tienen la mayor cantidad de áreas bajo riego, debido a sus unidades de riego con categoría mediana, le sigue Coipasa. En la misma figura se puede resaltar las unidades de riego con categorías pequeña y micro no tiene mucho significado o impacto en términos de volumen de demanda de agua, a pesar de que fueros dominantes en términos de números de unidades de riego, ilustrados en la Figura 40.

**Figura 53. Demanda de agua en volumen por subcuenca y categoría**

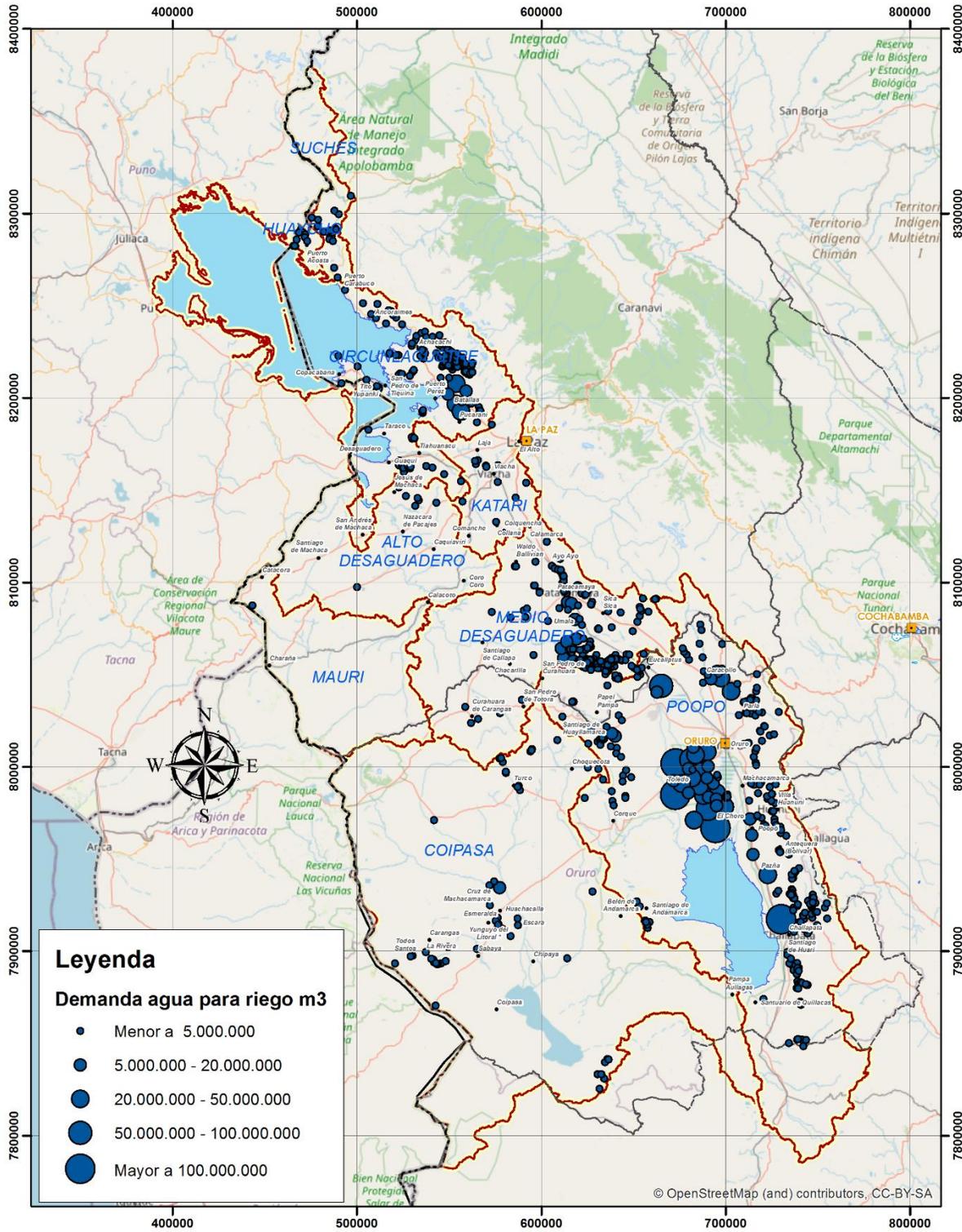


**Figura 54. Demanda de agua en volumen (m<sup>3</sup>) por subcuenca y categoría**



La figura 54 permite verificar que las subcuencas con mayor demanda son el Poopó con el 61,59% de la demanda actual, seguida por las subcuencas Circunlacustre con 16,75% y Medio Desaguadero con 13,84%, sumando entre las tres el 92% de la demanda de agua para riego del TDPS-Bolivia. Con relación a la distribución de la demanda por categorías, también se puede resaltar el mismo comportamiento de la Figura 48, en la que la categoría mediana es dominante con 92,88% de participación, el resto de las categorías tienen una participación menor a 6%, este hecho es debido a una relación directa entre el área de riego y volumen de demanda de agua.

Figura 55. Demanda de agua anual para riego en m<sup>3</sup>



En la figura 55 se presenta la distribución espacial de la demanda de agua para riego, en concordancia con lo descrito anteriormente, se pueden destacar las siguientes características:

- Las subcuencas de Poopó, Medio Desaguadero y Circunlacustre tienen la mayor demanda de agua debido a que se concentran la mayor cantidad de unidades de riego con categoría mayor;
- Las unidades de riego con categoría mayor tienen alta demanda de agua, le siguen las de categoría mediana, pequeña y micro.
- Algunas unidades de riego con categoría mediana de las subcuencas Poopó, Medio Desaguadero y Coipasa tienen una mayor demanda debido a que son afectados por las bajas precipitaciones en esas zonas; este fenómeno se puede claramente evidenciar en la subcuenca Coipasa.
- Como fue mencionado, la subcuenca Coipasa también concentra unidades de riego con una mayor demanda de agua, debido a sus unidades de riego con categoría mediana, además se encuentran en una zona con baja precipitación, por tanto la demanda aumenta.
- Demanda de agua mensual

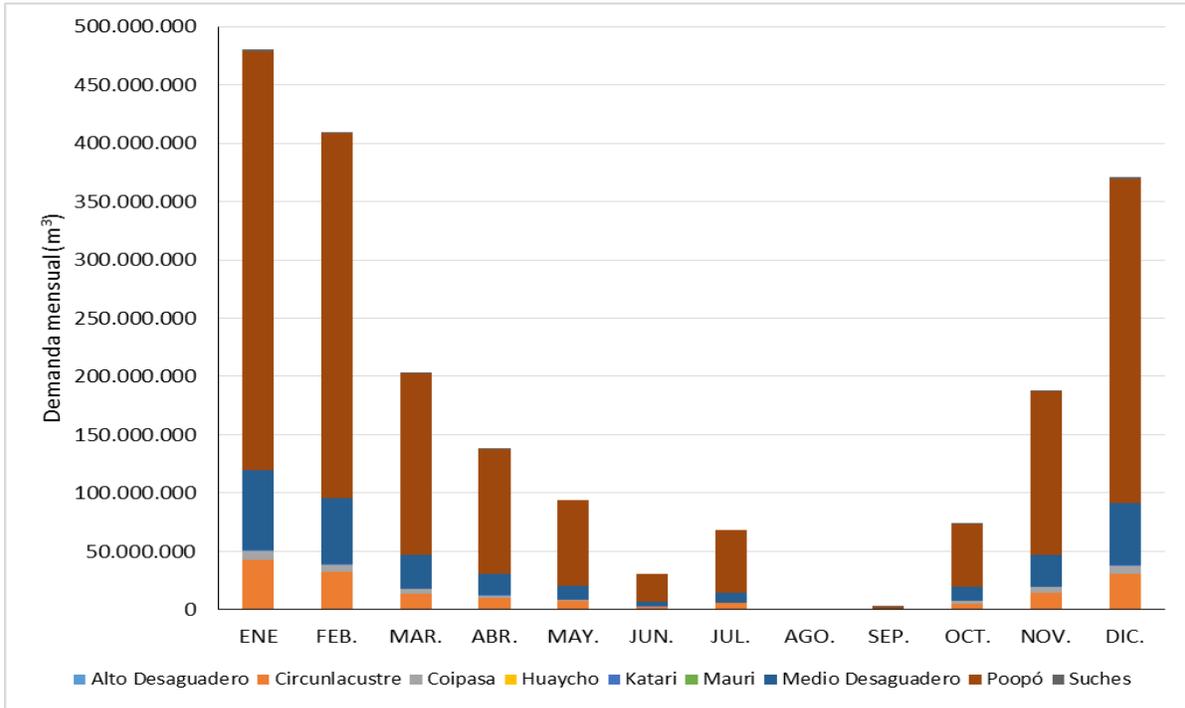
En la tabla 31 se presenta la demanda de agua para riego, promedio mensual y total anual por subcuenca, se observa que la demanda anual total de agua para riego en el sistema TDPS, sector boliviano, asciende a 2.059.480.703 metros cúbicos.

**Tabla 31. Demanda de agua para riego, en MMC por subcuencas**

Subcuenca	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Alto Desaguadero	0,5	0,4	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	1,9
Circunlacustre	42,1	31,8	13,2	9,7	7,5	2,5	5,5	0,0	0,6	4,6	14,3	30,1	161,8
Coipasa	7,8	6,3	4,4	2,4	0,6	0,3	0,1	0,3	0,5	2,7	5,1	6,9	37,4
Huaycho	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3
Katari	1,0	0,7	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,3	0,6	3,5
Mauri	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Medio Desaguadero	68,1	56,3	28,6	18,3	12,2	3,9	8,6	0,0	0,1	12,0	27,3	53,2	288,5
Poopó	359,4	313,3	156,3	106,4	73,3	23,7	54,1	0,3	1,5	54,0	139,6	278,3	1.560,0
Suches	1,6	1,0	0,6	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,7	1,2	5,8
Total general	480,5	409,9	203,5	137,5	93,8	30,5	68,5	0,7	2,7	73,7	187,5	370,8	2.059,5

En la Figura 56 se presenta la distribución promedio de la demanda de agua para riego a lo largo del año, la misma que está en función de calendario agrícola de las cédulas de cultivo consideradas. Se puede observar que, en correspondencia con el calendario agrícola, las menores demandas se producen entre mayo y septiembre, cuando la actividad agrícola es baja a nula por las bajas temperaturas y la elevada incidencia de heladas.

**Figura 56. Demanda promedio mensual de agua para riego en m<sup>3</sup>**



**Demanda de agua por municipio**

**Figura 57. Distribución de la demanda anual de agua para riego por municipios (MMC)**

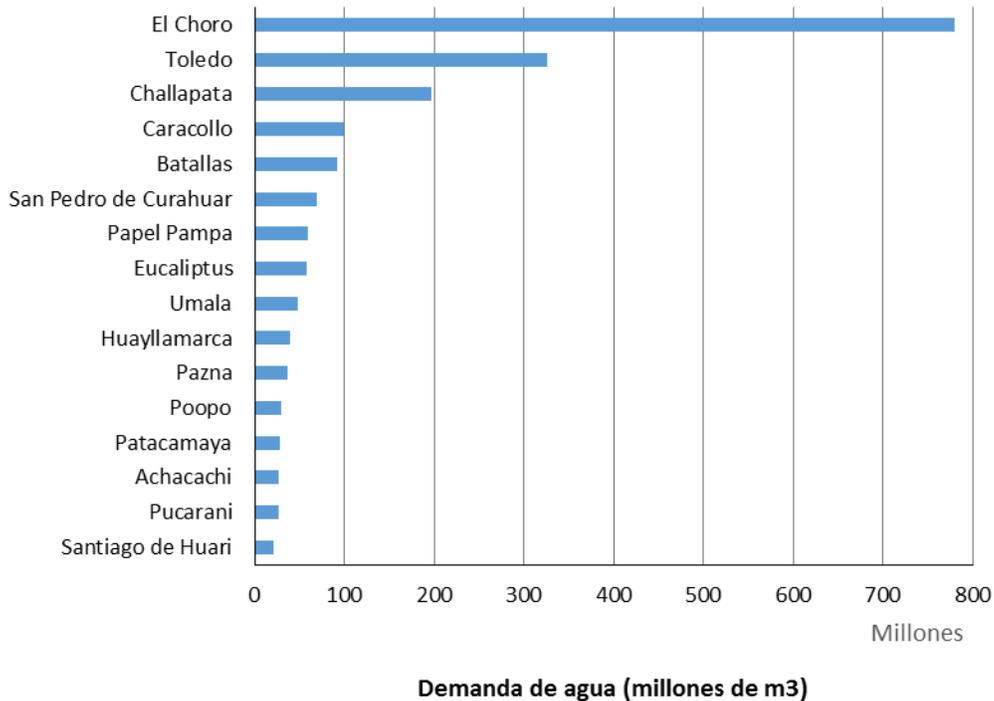
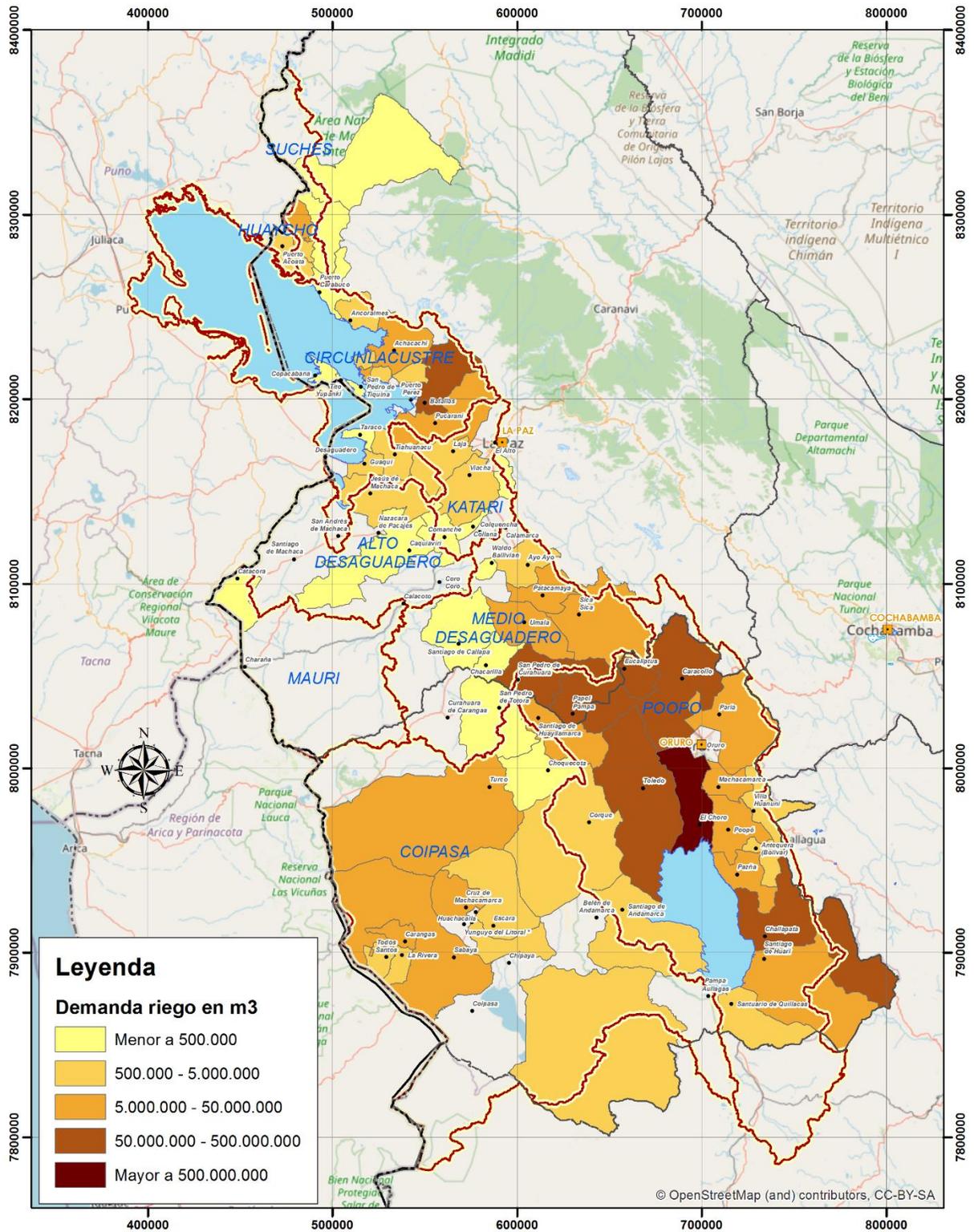


Figura 58. Distribución de la demanda anual de agua para riego en m<sup>3</sup> por municipio



En la figura 57 se muestra la distribución de la demanda anual de agua para riego por municipios. Se puede destacar los 16 municipios con demanda de agua arriba de los 10 millones de m<sup>3</sup>. También se puede resaltar que la mayor demanda de agua para riego, mayor a 100 millones de m<sup>3</sup>, está concentrada en los municipios de El Choro (38%), Toledo (16%), Challapata (10%) y Caracollo (5%), con la característica de que todos ellos, excepto Challapata, son dependientes del río Desaguadero para su provisión de agua.

En la figura 58 se presenta la distribución espacial de la demanda de agua para riego, en la que se puede apreciar y constatar las siguientes características: que la cuenca Poopó es la que tiene mayor cantidad de municipios con mayor demanda (El Choro, Toledo, Challapata, Caracollo), con excepción de Challapata, el resto está alineada al eje del río Desaguadero.

#### 4.2.5 Demanda de agua para riego en m<sup>3</sup>/ha

##### Demanda de agua por subcuenca en m<sup>3</sup>/ha

En la siguiente tabla se presenta el número de unidades de riego por subcuencas y niveles de demanda en m<sup>3</sup>/ha: Muy alto (mayor a 15.000 m<sup>3</sup>/ha), Alto (10.000 a 15.000 m<sup>3</sup>/ha), Medio (5.000 a 10.000 m<sup>3</sup>/ha) y Bajo (menor a 5.000 m<sup>3</sup>/ha).

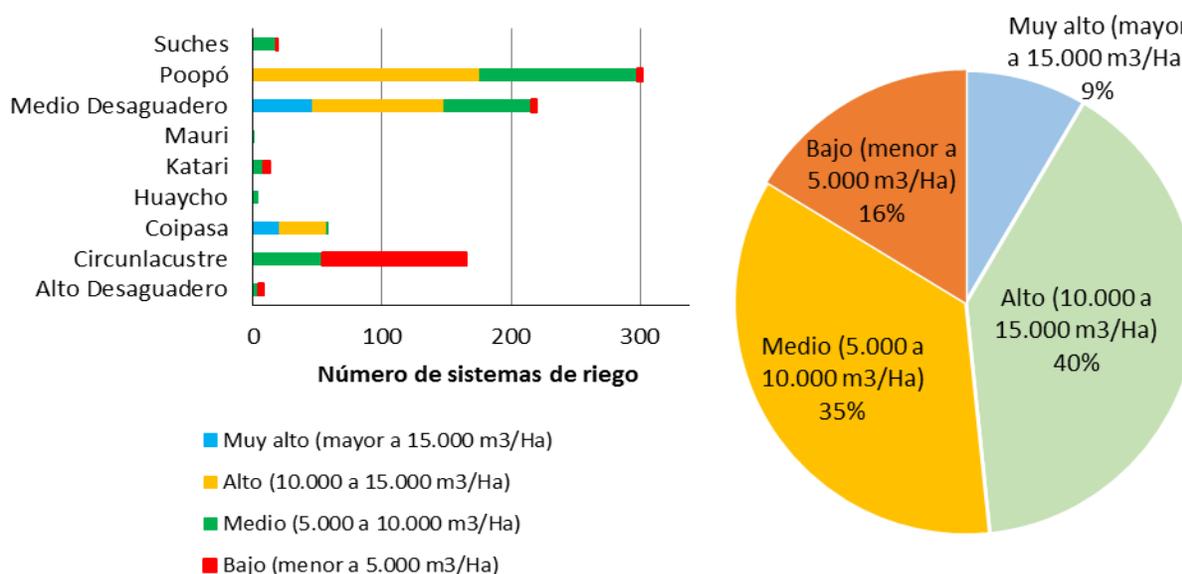
**Tabla 32. Número de unidades de riego por niveles de demanda en m<sup>3</sup>/ha, por subcuencas**

Subcuenca	Muy alto (mayor a 15.000 m <sup>3</sup> /ha)	Alto (10.000 a 15.000 m <sup>3</sup> /ha)	Medio (5.000 a 10.000 m <sup>3</sup> /ha)	Bajo (menor a 5.000 m <sup>3</sup> /ha)	Total general	En %
Alto Desaguadero		1	3	4	8	1,0%
Circunlacustre			54	111	165	20,9%
Coipasa	21	36	1		58	7,3%
Huaycho			4		4	0,5%
Katari			8	5	13	1,6%
Mauri			1		1	0,1%
Medio Desaguadero	46	102	68	4	220	27,8%
Poopó		176	122	4	302	38,2%
Suches			18	1	19	2,4%
Total general	67	315	279	129	790	100,0%
En %	8,5%	39,9%	35,3%	16,3%	100,0%	

Con el apoyo de la Figura 59 se puede apreciar que la subcuenca Poopó predomina con una mayor cantidad de unidades de riego con un nivel de demanda de agua “alto” y “medio”, le sigue la subcuenca Medio Desaguadero y Circunlacustre. El número de unidades de riego con nivel “medio” es predominante también en la subcuenca Poopó, Medio Desaguadero y Circunlacustre. El mayor número de unidades de riego con nivel “muy alto” ocurre en las subcuenca de Medio Desaguadero y Coipasa.

En la misma figura, con relación a los niveles de demanda en m<sup>3</sup>/ha, muestra que el número de unidades de riego con nivel “alto” (entre 10.000 a 15.000 m<sup>3</sup>/ha) es 40%, le sigue el nivel “medio” en un 35% de los sistema de riego (desde 5.000 a 10.000 m<sup>3</sup>/ha), el resto es menor al 16%.

**Figura 59. Número de unidades de riego por subcuenca y niveles de requerimiento en m<sup>3</sup>/ha**



**Nº de unidades de riego por subcuenca y nivel de requerimiento en m<sup>3</sup>/ha**

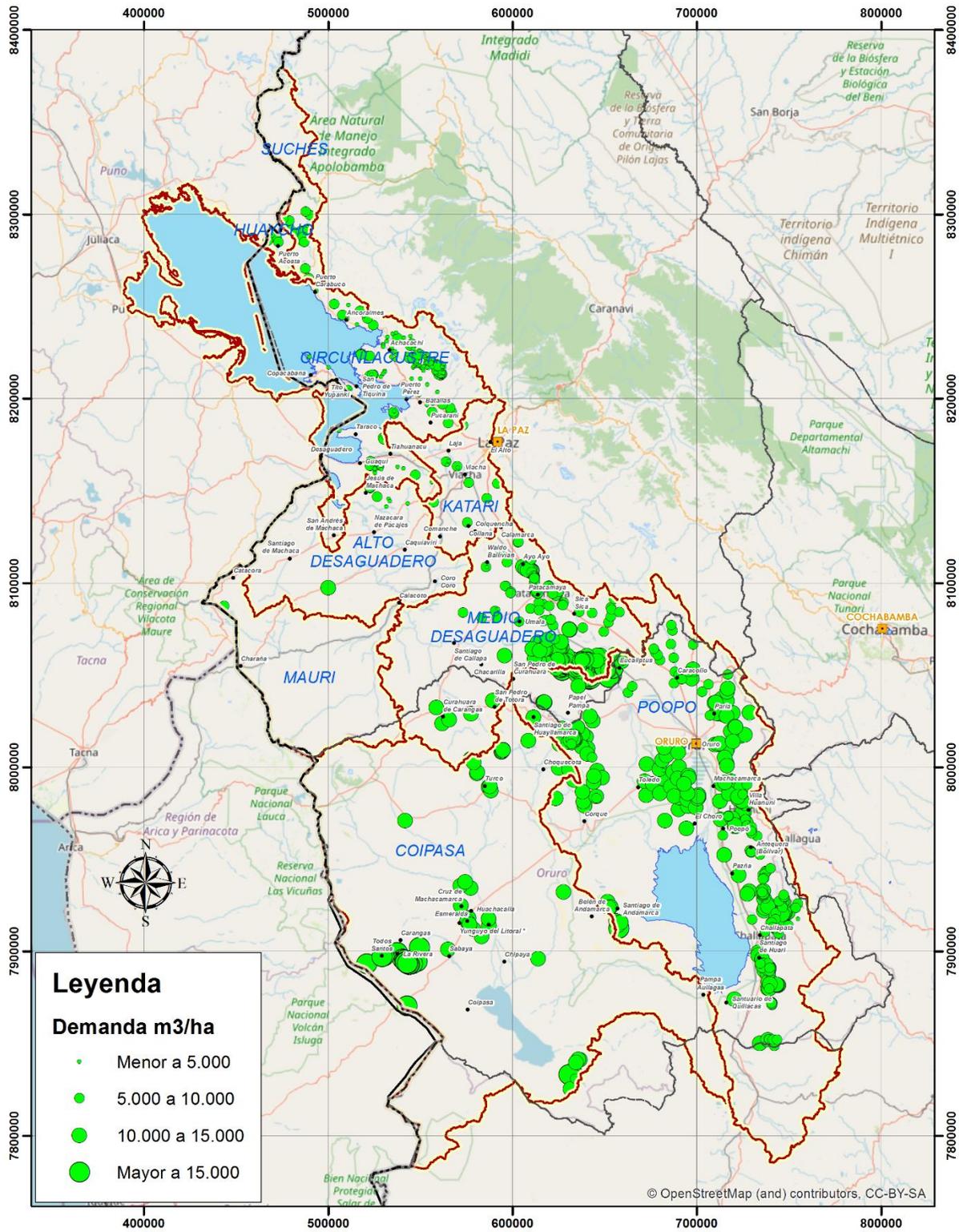
**Nº de unidades de riego por nivel de requerimiento en m<sup>3</sup>/ha**

En la siguiente tabla se presenta la demanda de agua por subcuencas y niveles de requerimiento: Muy alto (mayor a 15.000 m<sup>3</sup>/ha), Alto (10.000 a 15.000 m<sup>3</sup>/ha), Medio (5.000 a 10.000 m<sup>3</sup>/ha) y Bajo (menor a 5.000 m<sup>3</sup>/ha).

**Tabla 33. Promedio de demanda de agua para riego por niveles de requerimiento en m<sup>3</sup>/ha, por subcuencas**

Subcuenca	Muy alto (mayor a 15.000 m <sup>3</sup> /ha)	Alto (10.000 a 15.000 m <sup>3</sup> /ha)	Medio (5.000 a 10.000 m <sup>3</sup> /ha)	Bajo (menor a 5.000 m <sup>3</sup> /ha)	Total general
Alto Desaguadero		13.269,16	5.750,96	3.972,94	5.802
Circunlacustre			5.465,63	3.975,61	4.439
Coipasa	18.099,44	12.692,00	8.661,75		14.580
Huaycho			5.964,14		5.964
Katari			5.555,06	3.841,69	4.896
Mauri			9.505,17		9.505
Medio Desaguadero	15.075,44	13.238,25	7.999,04	3.947,07	11.834
Poopó		11.665,35	8.390,55	4.414,91	10.246
Suches			6.062,82	4.290,05	5.970
Total general	16.023	12.297	7.439	3.986	9.535

Figura 60. Distribución de la demanda anual de agua para riego en m<sup>3</sup>/ha

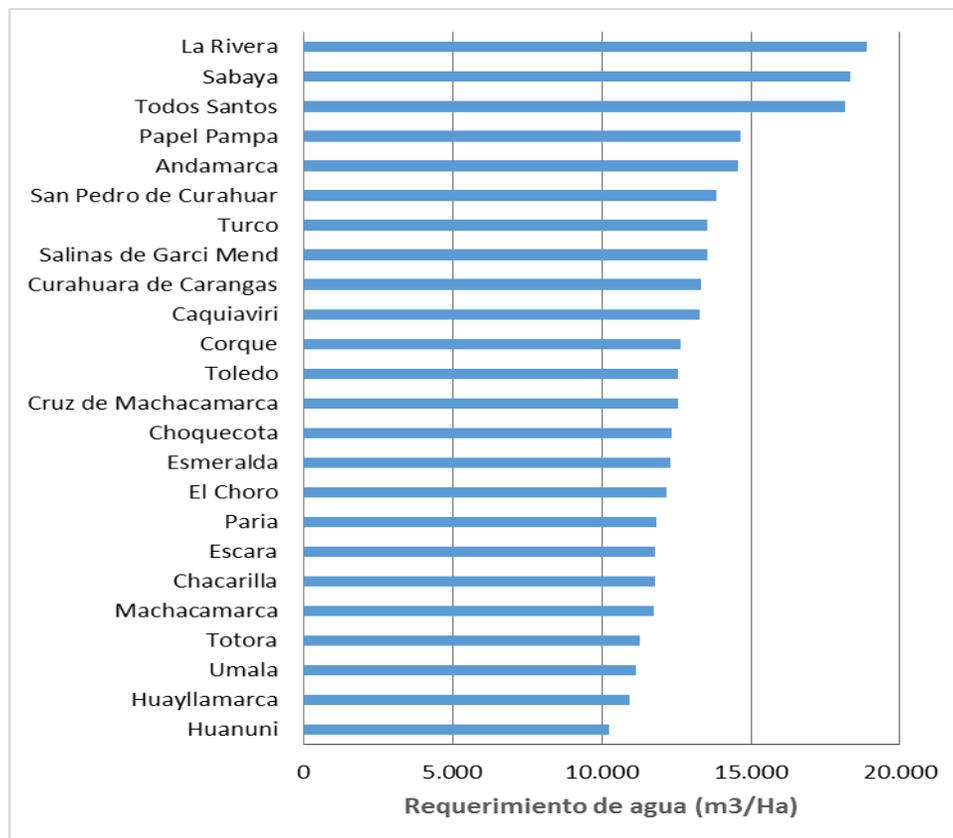


En la figura 60 se presenta la distribución espacial de la demanda anual de agua para riego en m<sup>3</sup>/ha, para cada sistema de riego; se puede apreciar y verificar las siguientes características:

- Que el indicador de volumen anual requerido en m<sup>3</sup> por ha de riego, en cada sistema de riego tiende a incrementarse en la subcuencas Coipasa, Poopó y Medio Desaguadero, debido a que en estas zonas la precipitación es baja, además los factores climáticos en el periodo de estiaje demanda una mayor cantidad de agua.
- Mientras tanto, el indicador de demanda expresado en m<sup>3</sup>/ha en las unidades de riego de las subcuencas Alto desaguadero, Katari, Circunlacuastre es bajo, debido a que la precipitación es mayor que en el resto de las subcuencas.
- El indicador de demanda en m<sup>3</sup>/ha, permite hacer una zonificación de la demanda de agua para riego, en este sentido, se puede apreciar el efecto en las unidades de riego con categoría mediana y mayor en las cuencas de Coipasa y Poopó, en la que prácticamente el indicador marca niveles altos (mayor a 10.000 m<sup>3</sup>/ha) a muy altos (mayores a 15.000 m<sup>3</sup>/ha).

En la siguiente figura se presenta los 24 municipios con mayor a demanda de agua para riego, mayor a 10.000 m<sup>3</sup>/ha, el resto de los municipios con unidades de riego (en actual funcionamiento) tiene una demanda menor a lo indicado.

**Figura 61. Demanda anual de agua para riego por municipios (mayor a 10.000 m<sup>3</sup>/ha)**



## Demanda por cédula de cultivos

En la siguiente tabla se presenta la demanda de agua por cédula de cultivos, en la que se puede observar que el 83,7% del área de cultivo bajo riego es dominante la producción de forrajes para el desarrollo de la ganadería, tales como la cédula de cultivo 2 con 55,5%, que se refiere al cultivo de Alfalfa, Quinua, Papa, Cañahua y Cebada; le sigue la cédula 1 también forrajero con 28,2%, el resto es menor al 7%.

**Tabla 34. Demanda de agua para riego en m<sup>3</sup>, por cédula de cultivos**

Cédula de cultivos		Demanda m3	En %
Cédula 1	Alfalfa, 30%; Cebada, 25%; Avena, 20%; Quinua, 15%; Papa, 10%	581.067.567,99	28,2%
Cédula 2	Alfalfa, 30%; Quinua, 30%; Papa, 20%; Cañahua, 10%; Cebada, 10%	1.142.943.349,43	55,5%
Cédula 3	Cebolla, 25%; Zanahoria, 25%, Haba, 20%; Papa, 20%; Alfalfa, 10%	46.508.238,85	2,3%
Cédula 4	Papa, 30%; Cebada, 30%; Haba, 20%; Quinua, 10%; Avena, 10%	63.379.671,58	3,1%
Cédula 5	Quinua, 30%; Papa, 25%, Alfalfa, 20%, Cañahua,15%; Cebada, 10%	35.290.347,79	1,7%
Cédula 6	Quinua, 30%; Papa, 25%; Alfalfa, 20%; Cañahua, 15%; Cebolla, 10%	143.926.494,39	7,0%
Cédula 7	Quinua, 75%; Papa, 10%; Cebada, 10%; Cañahua, 5%	35.132.109,03	1,7%
Cédula 8	Pastizal, 100%	11.232.924,10	0,5%
Total general		2.059.480.703,17	100%

### 4.3 Demanda actividad ganadería

La demanda hídrica del sector agua para la ganadería está representada por el N° de cabezas de ganado dentro de una población rural presente en el sistema TDPS. En este sentido, a partir de los datos agropecuarios del Censo Nacional Agropecuario 2013 del Instituto Nacional de Estadística (INE), se procedió a estimar la población de ganado para el año 2020, utilizando las tasas de crecimiento estimadas con datos de los formularios generados durante el trabajo de campo. Los resultados se presentan a continuación en términos de número de cabezas de ganado, capacidad de carga animal y demanda de agua para la ganadería.

#### 4.3.1 Número de cabezas de ganado

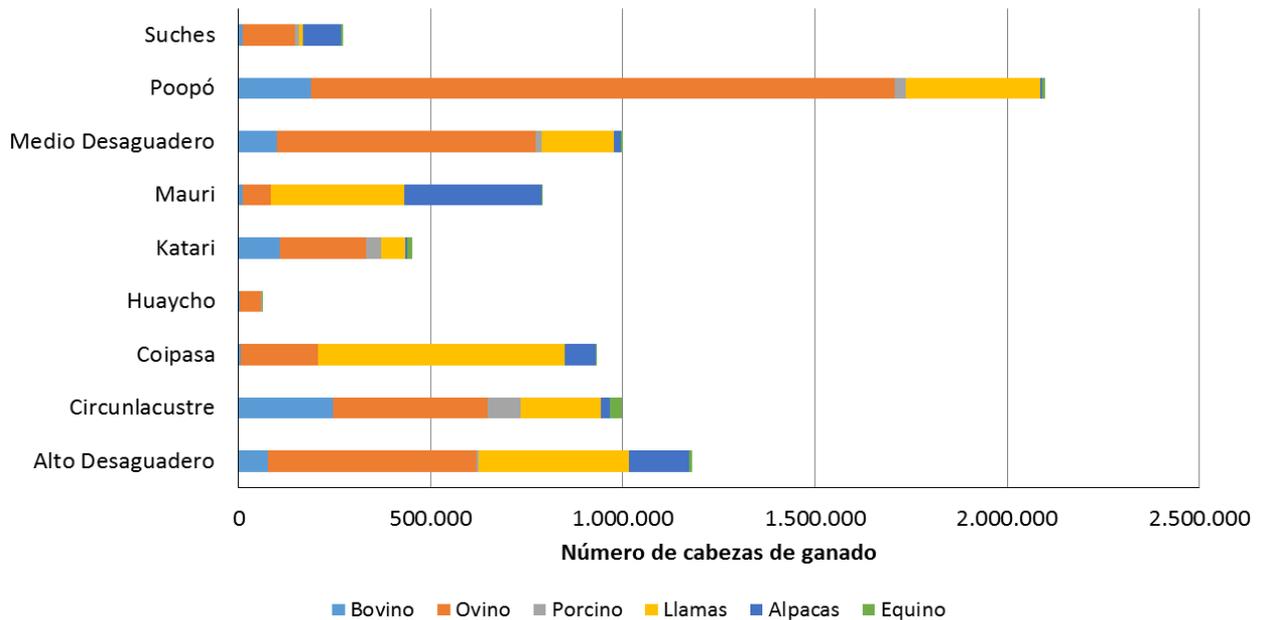
##### Número de cabezas de ganado por subcuencas

En la siguiente tabla se expresa la cantidad de cabezas de ganado proyectado al 2020 por subcuencas.

**Tabla 35. Número de cabezas de ganado por subcuenca y tipo de ganado**

Subcuenca	No. De cabezas ganado bovino	No. De cabezas ganado ovino	No. De cabezas ganado porcino	No. De cabezas ganado llamas	No. De cabezas ganado alpacas	No. De cabezas ganado equino	Total
Alto Desaguadero	75.713	542.482	4.835	392.416	158.029	7.245	1.180.720
Circunlacustre	245.307	403.594	83.881	209.130	24.086	30.139	996.137
Coipasa	4.636	201.794	604	642.536	78.951	740	929.261
Huaycho	4.087	52.485	3.146	398	1	1.593	61.710
Katari	108.275	224.004	39.356	61.503	6.420	12.625	452.183
Mauri	11.046	73.589	17	347.060	355.799	1.544	789.055
Medio Desaguadero	99.977	673.792	14.369	188.485	17.838	4.445	998.906
Poopó	187.590	1.520.941	28.118	348.701	5.964	8.317	2.099.631
Suches	11.826	135.747	8.570	12.179	98.839	4.968	272.129
<b>Total</b>	<b>748.457</b>	<b>3.828.428</b>	<b>182.896</b>	<b>2.202.408</b>	<b>745.927</b>	<b>71.616</b>	<b>7.779.732</b>

**Figura 62. Participación del tipo de ganado en número de cabezas por Subcuenca**



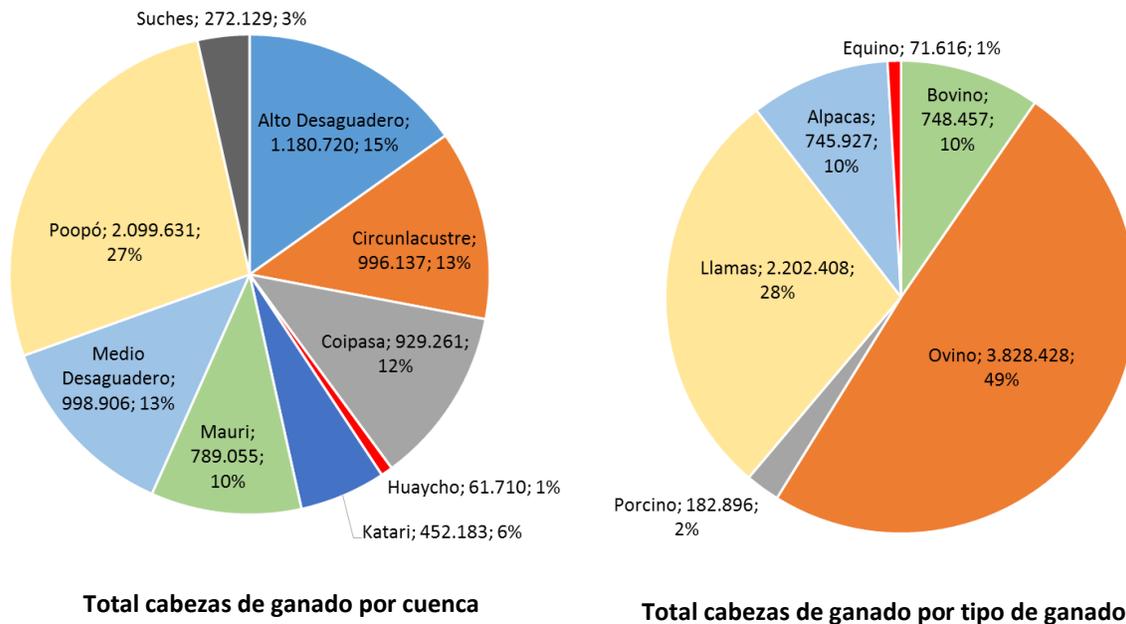
Retomando la mencionada tabla, se ha elaborado la figura 62 que nos permite identificar cuatro grupos de cuencas:

- Grupo 1: las subcuencas de Poopó, Circunlacustre, Katari, Alto Desaguadero y Medio Desaguadero son potenciales en ganadería bovina;
- Grupo 2: las mismas subcuencas, incluyendo la cuenca Coipasa, Katari, Huaycho son también potenciales en ganadería ovina;

- Grupo 3: la mismas subcuencas del grupo 1, incluyendo las subcuencas Coipasa y Mauri son potenciales en producción de llamas.
- Grupo 4: La subcuencas de Suches, Mauri, Coipasa y Alto Desaguadero son potenciales en la producción de alpacas.

En la siguiente figura se ilustra el total de cabezas de ganado por cuenca, se observa que la cuenca Poopó, Circunlacustre, Alto Desaguadero, Coipasa y Medio desaguadero tienen un alto potencial ganadero. Se observa también que predomina el ganado ovino, llamas, alpacas y el ganado Bovino.

**Figura 63. Total cabezas de ganado por cuencas y por tipo de ganado**



En la figura 64 se observar la distribución espacial de las proporciones de tipo de cabezas de ganado por subcuencas.

### Número de cabezas de ganado por municipio

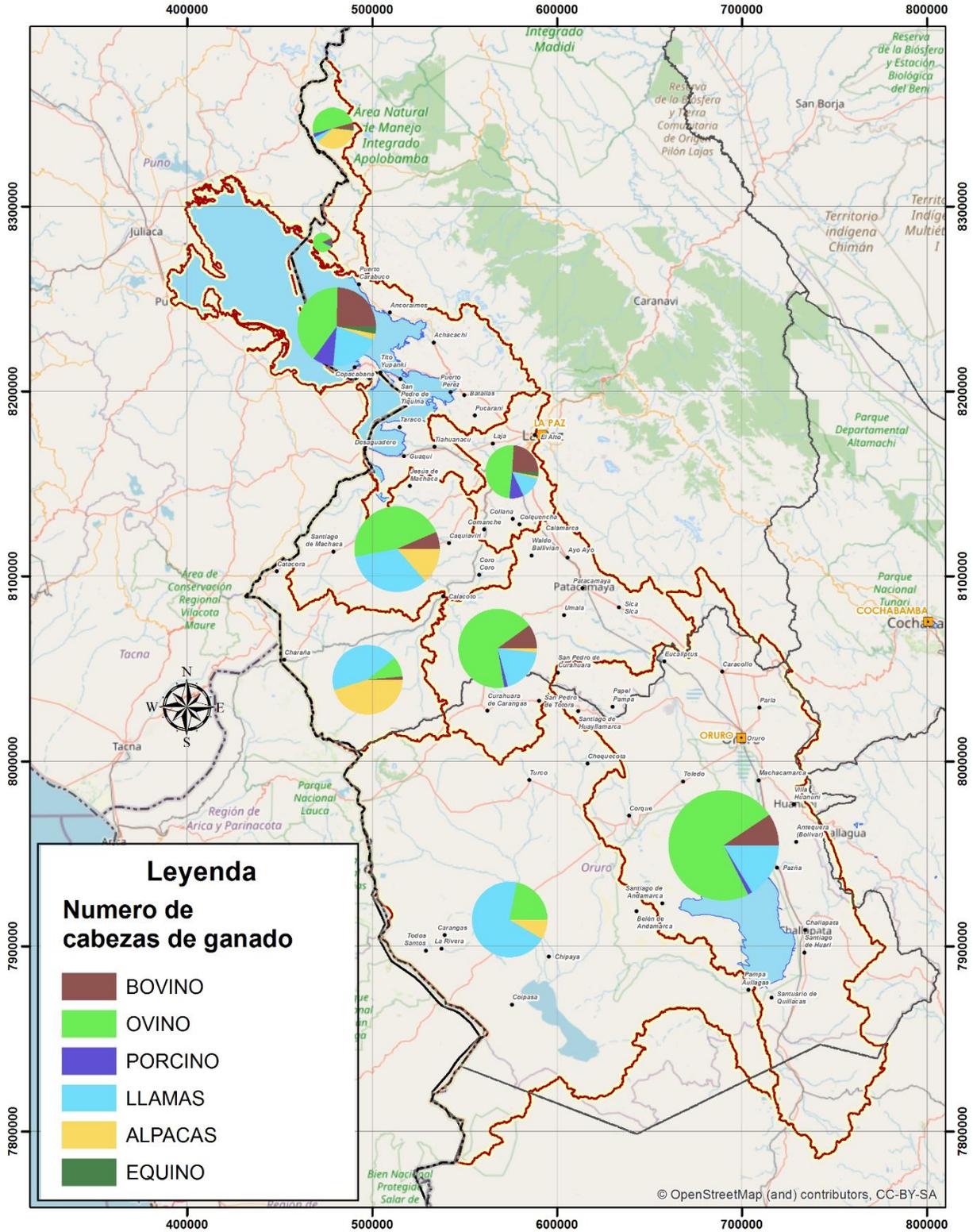
En la figura 65 se presentan los 24 municipios con mayor número de cabezas de ganado bovino (mayor a 10.000 cabezas).

En la figura 66 se presentan los 25 municipios con mayor número de cabezas de ganado ovino (mayor a 50.000 cabezas).

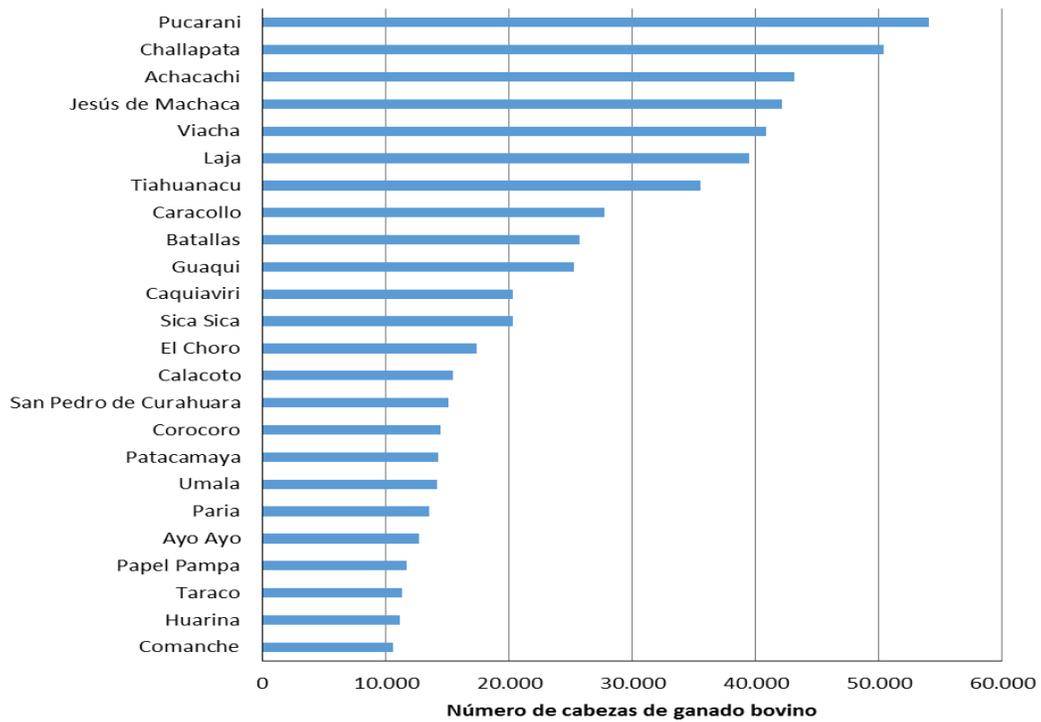
En la figura 67 se presentan los 25 municipios con mayor número de cabezas de ganado porcino (mayor a 2.000 cabezas).

En la figura 68 se presentan los 22 municipios con mayor número de cabezas de alpaca (mayor a 1.000 cabezas).

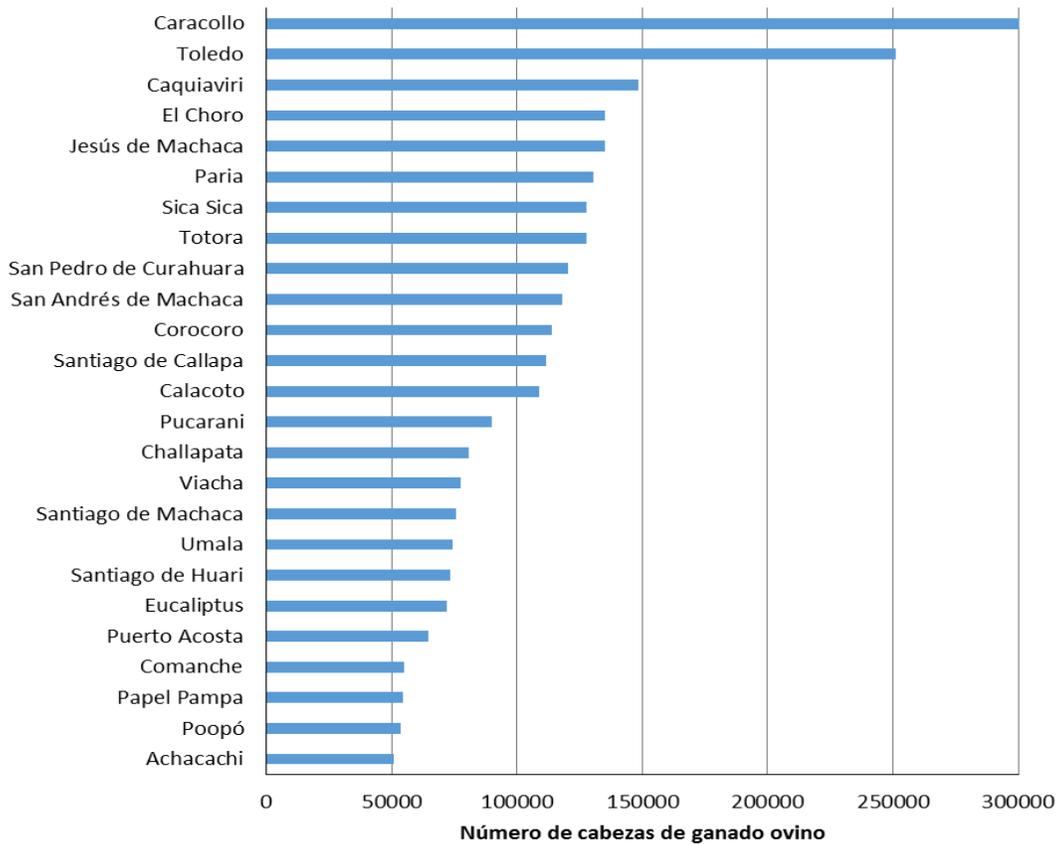
Figura 64. Distribución del número de cabezas de ganado por subcuenca



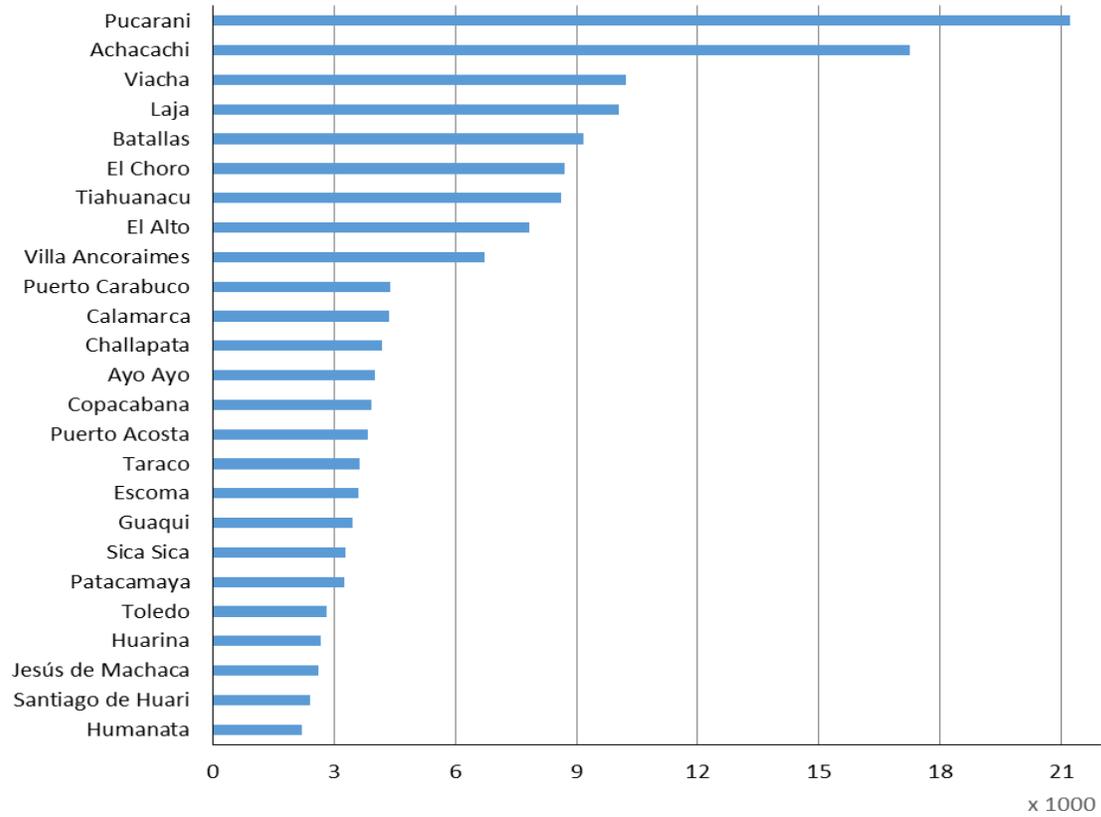
**Figura 65. Municipios con mayor número de cabezas de ganado bovino**



**Figura 66. Municipios con mayor número de cabezas de ganado ovino**

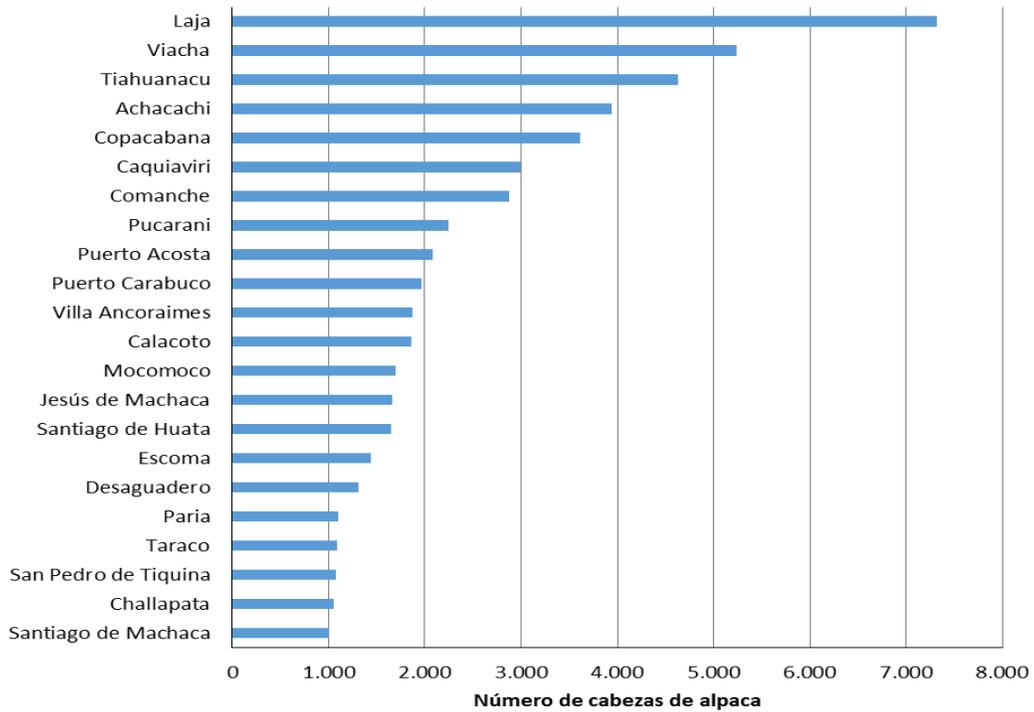


**Figura 67. Municipios con mayor número de cabezas de ganado porcino**



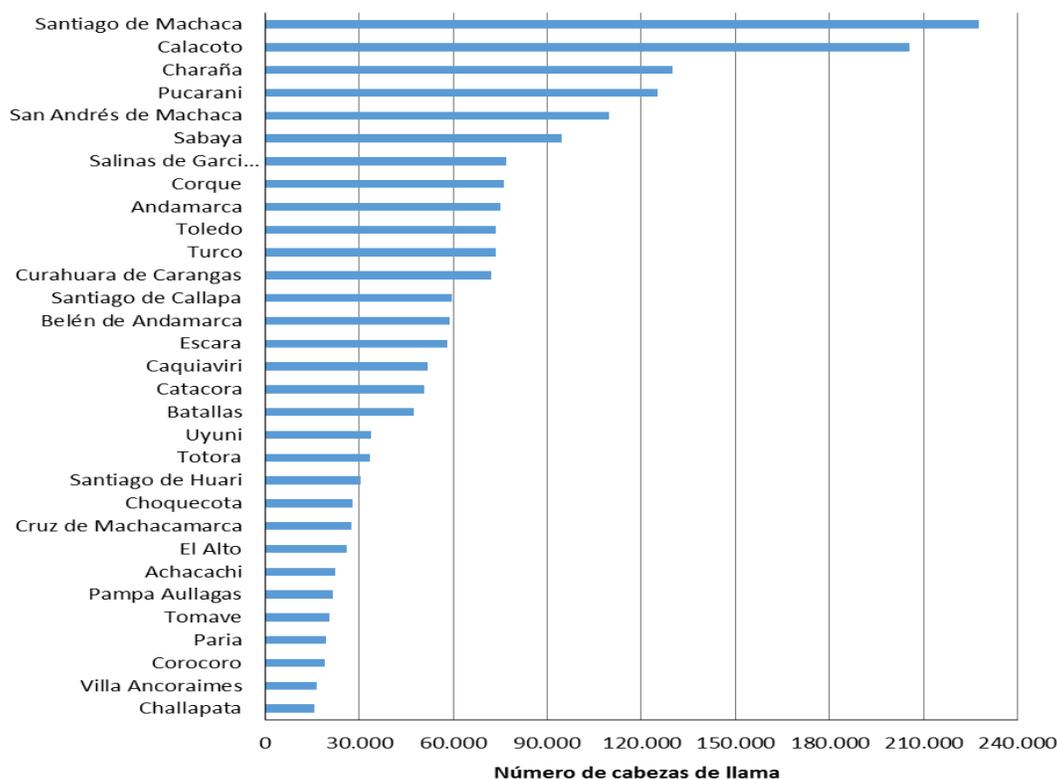
**Número de cabezas de porcino**

**Figura 68. Municipios con mayor número de cabezas de ganado alpaca**



En la siguiente figura se presentan los 31 municipios con mayor número de cabezas de llama (mayor a 15.000 cabezas).

**Figura 69. Municipios con mayor número de cabezas de llama**



### 4.3.2 Demanda de agua para ganadería

#### Demanda de agua para ganadería por subcuencas

En la siguiente tabla se expresa la demanda de agua del sector ganadero al 2020 por subcuencas y tipo de ganado.

**Tabla 36. Demanda de agua del sector ganadero por subcuenca y tipo de ganado**

Subcuenca	Bovino	Ovino	Porcino	Llamas	Alpacas	Equino	Total	En %
Alto Desaguadero	1.934.467	792.024	7.059	859.391	288.403	105.777	3.987.121	12,4%
Circunlacustre	6.267.594	589.247	122.466	457.995	43.957	440.029	7.921.288	24,6%
Coipasa	118.450	294.619	882	1.407.154	144.086	10.804	1.975.994	6,1%
Huaycho	104.423	76.628	4.593	872	2	23.258	209.775	0,7%
Katari	2.766.426	327.046	57.460	134.692	11.717	184.325	3.481.665	10,8%
Mauri	282.225	107.440	25	760.061	649.333	22.542	1.821.627	5,7%
Medio Desaguadero	2.554.412	983.736	20.979	412.782	32.554	64.897	4.069.361	12,6%
Poopó	4.792.925	2.220.574	41.052	763.655	10.884	121.428	7.950.518	24,7%

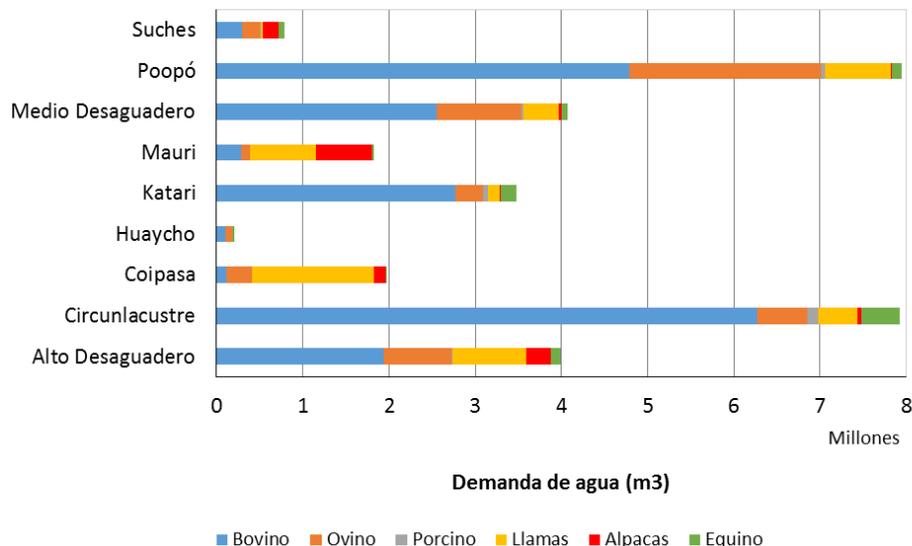
Suches	302.154	198.191	12.512	26.672	180.381	72.533	792.443	2,5%
Total	19.123.076	5.589.505	267.028	4.823.274	1.361.317	1.045.594	32.209.793	100,0%
En %	59,4%	17,4%	0,8%	15,0%	4,2%	3,2%	100,0%	

En base a la tabla anterior se ha elaborado la siguiente figura que nos permite resaltar lo siguiente:

- La demanda de agua del ganado bovino es dominante en las subcuencas Poopó, Circunlacustre, Katari, Alto Desaguadero, Medio Desaguadero y Suches, en correlación con la cantidad de cabezas de ganado bobino (figura 62);
- La demanda de agua de las llamas es dominante en la subcuenca Coipasa, también tiene una razonable participación en las cuencas Poopó, Medio Desaguadero, Mauri, Alto Desaguadero y Circunlacustre;
- La demanda de agua del ganado ovino es mínimo en las subcuencas de Mauri y Huacho, en el resto tienen una participación razonable.
- Las alpacas tiene una participación razonable en la demanda de agua en las subcuencas de Suches, Mauri, Coipasa y Alto Desaguadero.
- El ganado porcino y equino tiene una demanda de agua mínima en todas las cuencas, debido a que el ganado porcino es más para el autoconsumo que para fines comerciales; en cuanto al ganado equino es complementario para fines de trabajo agropecuario.

En términos generales, son cuatro tipo de ganados de demandan agua de manera significativa, la ganadería bovina, ovina, llamas y alpacas, debido a que son producido para comerciales, mientras el ganado porcino es destinado principalmente al autoconsumo y el ganado equino es complementario de apoyo al trabajo agropecuario.

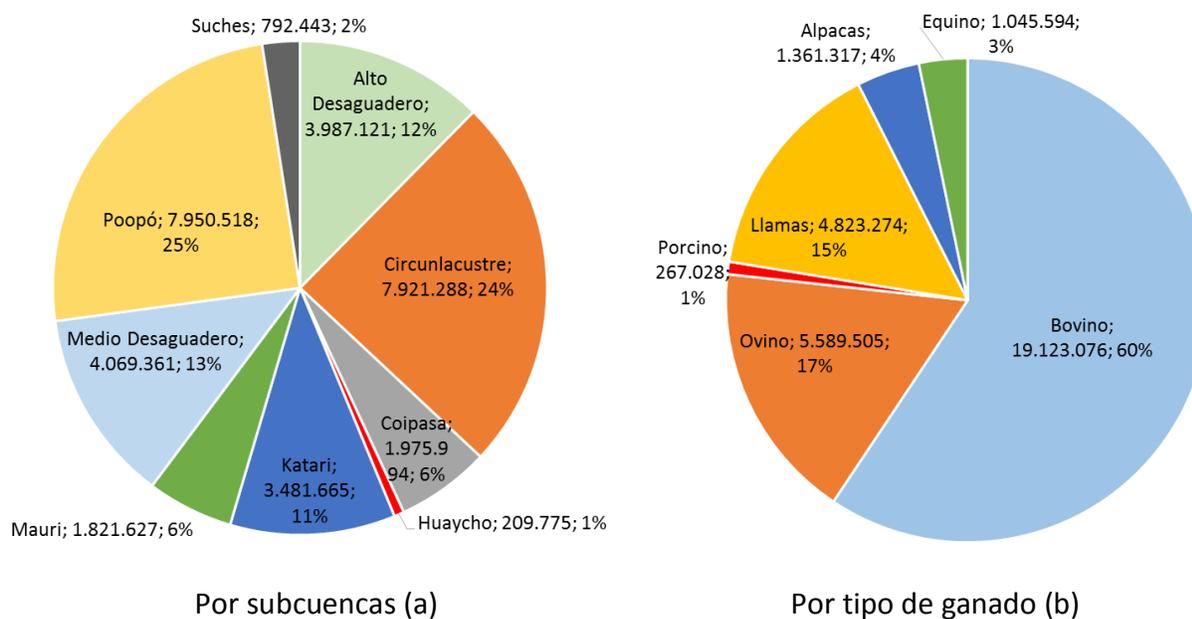
**Figura 70. Participación del tipo de ganado en la demanda de agua por subcuenca**



En la figura 71 se muestra la demanda de agua anual y actual (2020) para consumo del ganado (MMC), por subcuencas. Se puede observar que las mayores demandas se presentan en la subcuencas Poopó (25%) y Circunlacustre (24%), seguidas por Medio Desaguadero (13%) Alto Desaguadero (12%) y Katari (11%), conformando las 5 subcuencas el 85% de la demanda total de agua para ganadería en el sistema TDPS-Bolivia.

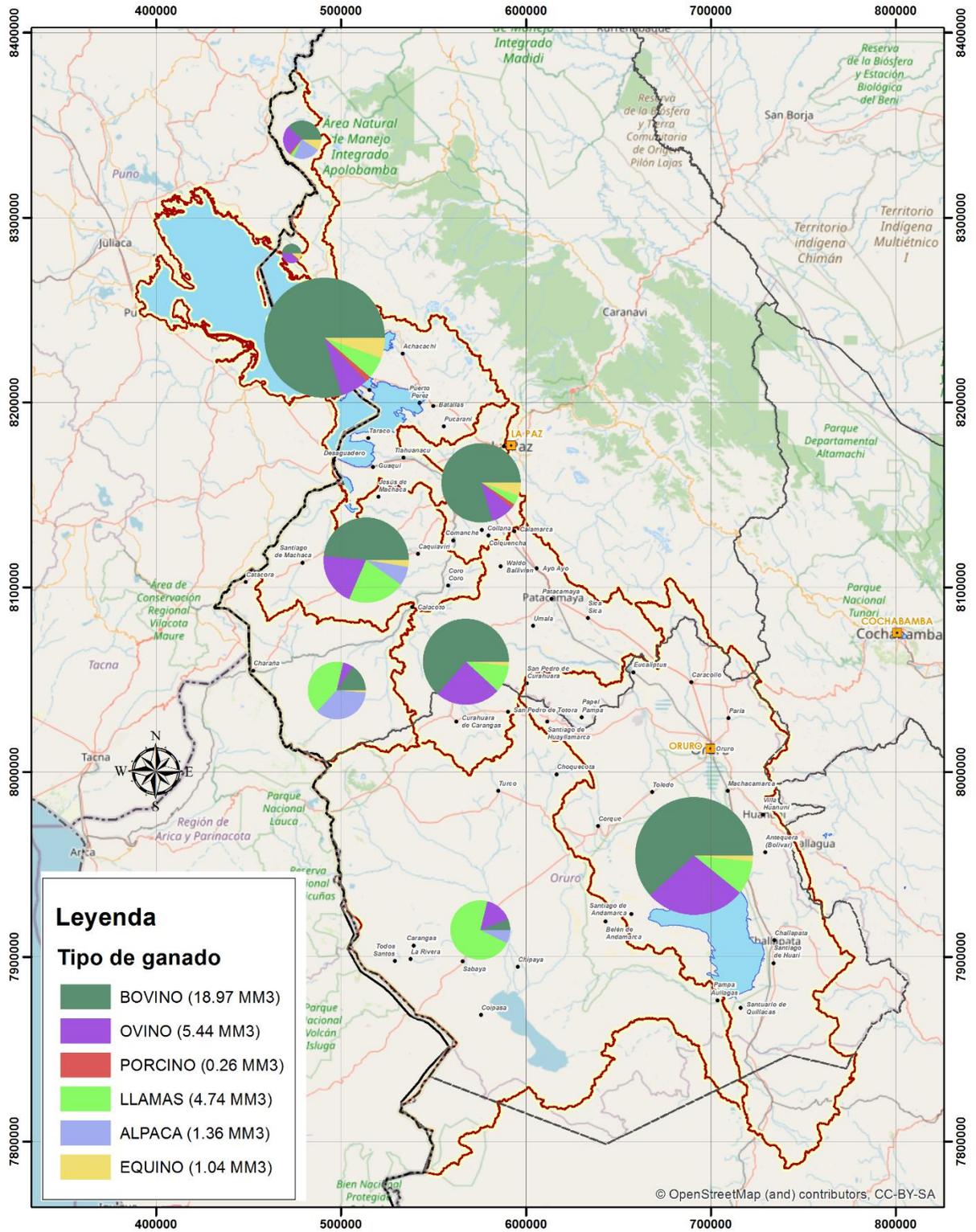
En la misma figura también se muestra la demanda anual y actual de agua para consumo del ganado, en MMC, por tipo de ganado. Se puede observar que el ganado bovino representa el 60% de la demanda, seguido por los ovinos, con 17%, y las llamas, con 15%.

**Figura 71. Demanda de agua anual y actual para consumo del ganado (m3), por subcuencas (a) y por tipo de ganado (b)**



En la siguientesFigura se muestra la distribución espacial de la demanda de agua para consumo de ganado, por subcuencas y por tipo de ganado, en la que se pueden corroborar la caracterización de las distribuciones y proporciones de demanda de agua para la ganadería, descrita anteriormente. Debe hacerse notar que a pesar de que en términos de cantidad de ganado bovino tiene una fracción de nivel medio en las cuencas de Poopó, Medio Desaguadero Circunlacustre y Katari, pero en términos de volumen es mayor o dominante en las mencionadas cuencas. En las subcuencas de Coipasa y Mauri dominan la demanda hídrica por las llamas.

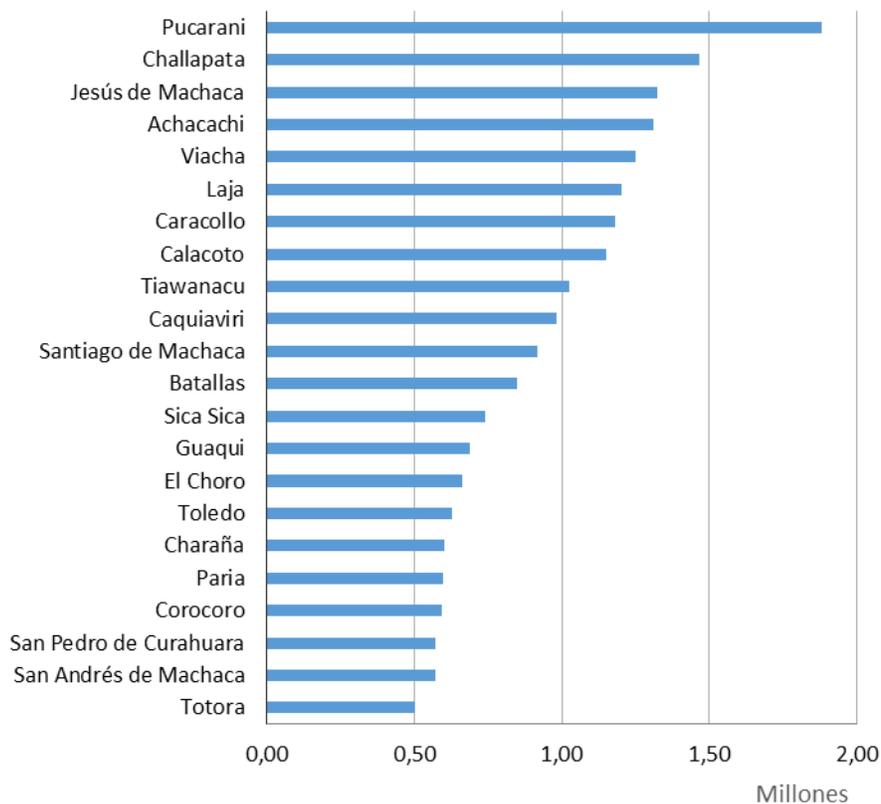
Figura 72. Distribución de la demanda de agua para la ganadería según tipo de ganado



## Demanda de agua para ganadería por municipio

En la siguiente figura se presentan los 22 municipios con mayor demanda de agua (mayor a 400.000 MMC), de las cuales podemos destacar los municipios de Pucarani, Challapata, Jesús de Machaca, Achacachi, Viacha, Laja, Caracollo y Calacoto, con demanda de agua para ganadería mayor a 1.200.000 m<sup>3</sup>.

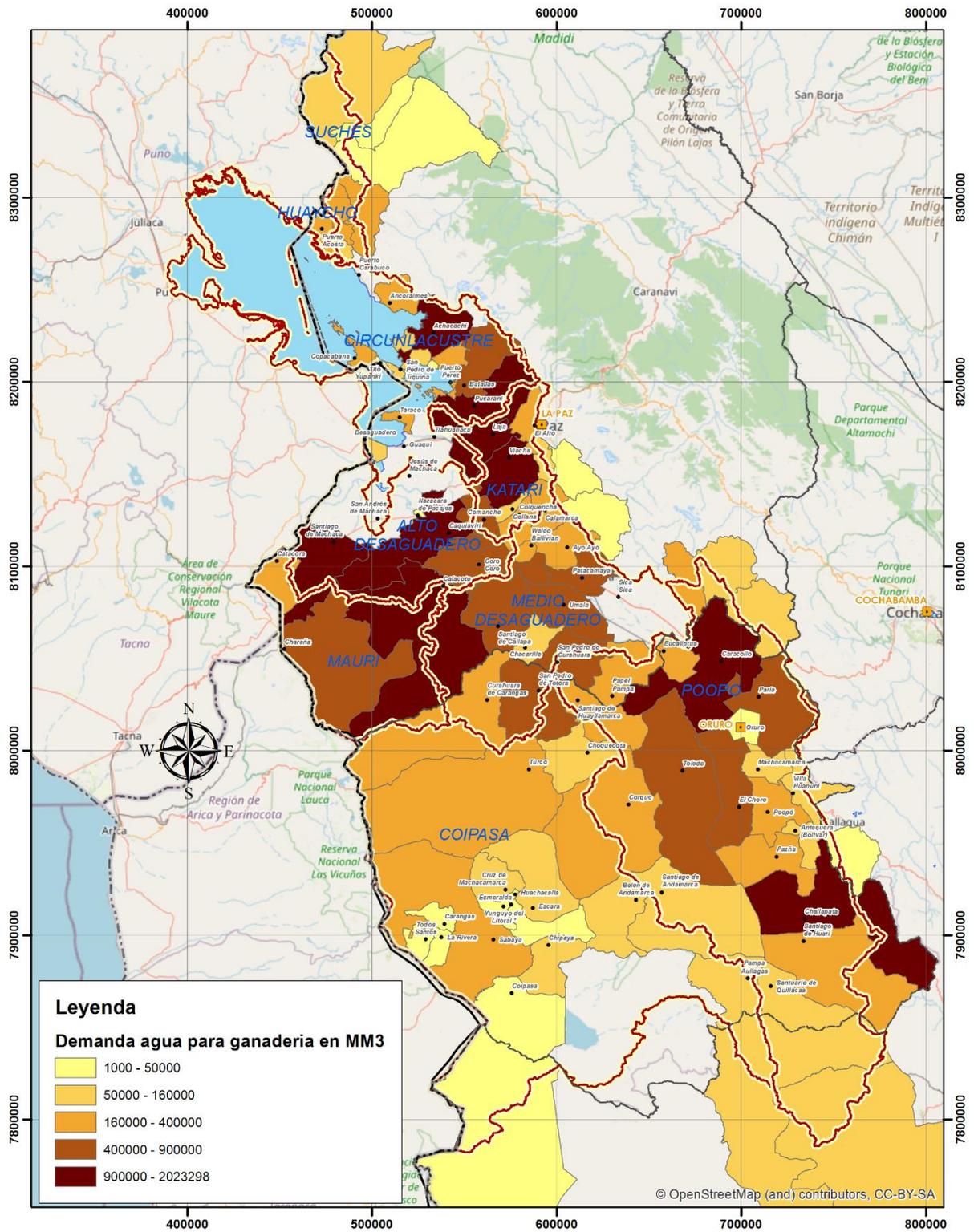
**Figura 73. Demanda de agua para consumo de ganado por municipio**



**Demanda de agua para ganadería en m3**

En la siguiente figura se presenta la distribución espacial de la demanda de agua para la ganadería por municipio, se puede constatar que tiene relación con la figura 72, también la Tabla 36, en la que se dijo que las zonas o municipios ganaderos se ubican con mayor impacto de demanda de agua para el ganado bovino y otro tipo de ganados en las subcuencas Poopó, Circunlacustre, Katari. Asimismo, las subcuencas de Coipasa y Mauri, si bien tienen buena cantidad de ganado camélido, pero su demanda de agua es con menor impacto.

Figura 74. Distribución de la demanda de agua para la ganadería por municipio



### 4.3.3 Proyecciones de la demanda de agua para ganadería

Se ha determinado la demanda de agua para ganado, para cada comunidad y centro poblado, para los años 2020, 2030, 2040 y 2050. Los resultados agregados por subcuencas se presentan en la Tabla 37.

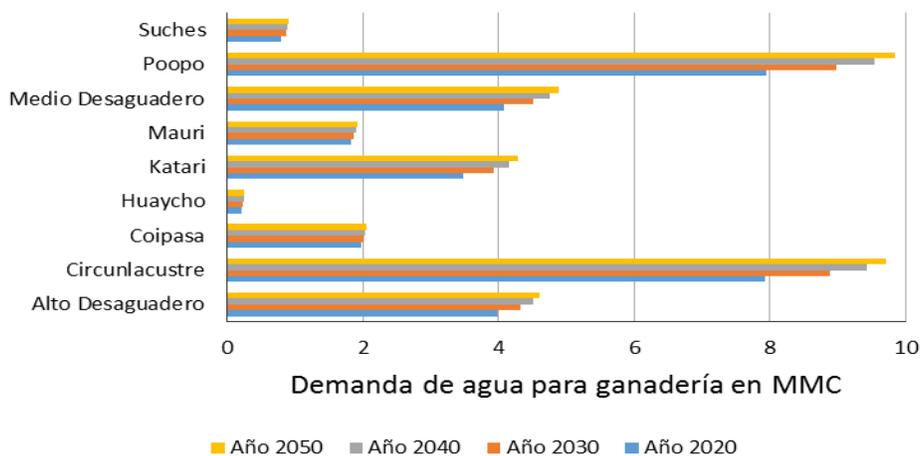
Debe hacerse notar que el incremento del número de ganados por hectárea, depende de la capacidad de carga animal, descrito en sección “5.2 Capacidad de carga animal”, depende básicamente de la disponibilidad de alimentos por hectárea, a sus vez depende de la disponibilidad de agua; de acuerdo a la existen aún zonas con baja densidad de carga animal, identificadas como zonas pobres y regulares, justamente porque son limitadas en recursos hídricos y alimento forrajero para los ganados.

**Tabla 37. Demanda de agua para consumo del ganado (MMC), por subcuencas, actual y proyecciones**

Subcuenca	2020	2030	2040	2050
Alto Desaguadero	3.99	4.32	4.51	4.60
Circunlacustre	7.92	8.89	9.43	9.71
Coipasa	1.98	2.02	2.04	2.05
Huaycho	0.21	0.23	0.24	0.25
Katari	3.48	3.92	4.16	4.28
Mauri	1.82	1.87	1.90	1.91
Medio Desaguadero	4.07	4.51	4.76	4.88
Poopo	7.95	8.97	9.54	9.85
Suches	0.79	0.86	0.89	0.91
<b>Total</b>	<b>32.21</b>	<b>35.59</b>	<b>37.47</b>	<b>38.45</b>

En la Figura 77 se puede apreciar que la subcuenca del Poopó y la subcuencas circunlacustre presentan mayor demanda de agua proyectada al 2050; le siguen las subcuencas de Medio Desaguadero, Alto desaguadero y Katari.

**Figura 75. Proyecciones de la demanda de agua por subcuencas en MMC**



#### 4.4 Demanda actividad turismo

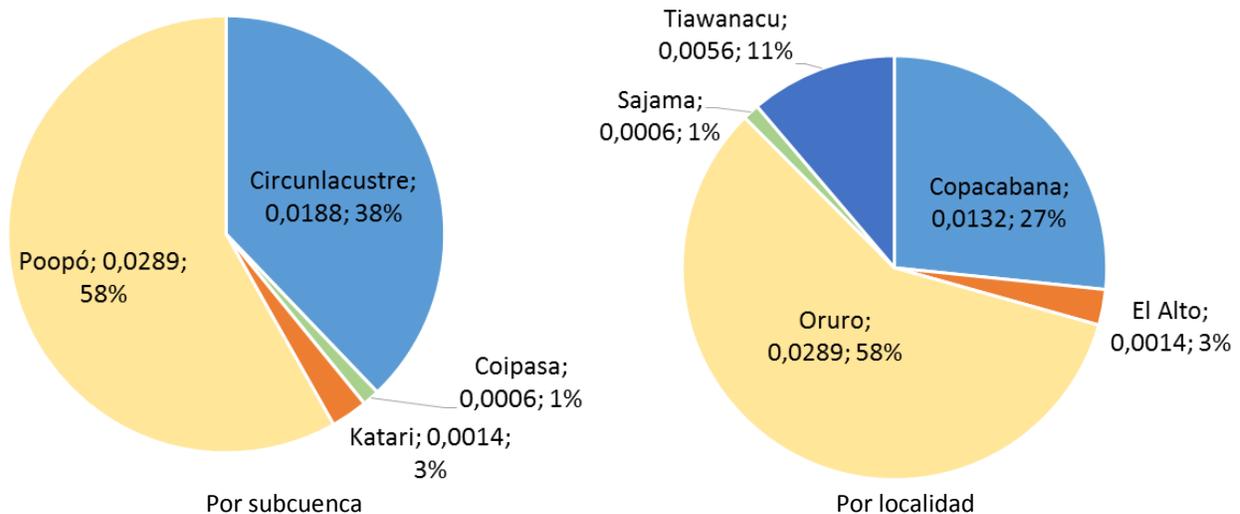
En la siguiente tabla se presenta un resumen de la demanda de agua del sector turismo por subcuenca, municipio y localidad en MMC; se observa que la demanda total anual de agua para el sector turismo asciende a aproximadamente 0,05 millones de metros cúbicos.

**Tabla 38. Demanda de agua por subcuenca, municipio y localidad en MMC**

Subcuenca / municipio	Copacabana	El Alto	Oruro	Sajama	Tiawanacu	Total general
<b>Circunlacustre</b>	0,0132				0,0056	0,0188
Copacabana	0,0132					0,0132
Tiawanacu					0,0056	0,0056
<b>Coipasa</b>				0,0006		0,0006
Curahuara de Carangas				0,0006		0,0006
<b>Katari</b>		0,0014				0,0014
El Alto		0,0014				0,0014
<b>Poopó</b>			0,0289			0,0289
Oruro			0,0289			0,0289
<b>Total general</b>	<b>0,0132</b>	<b>0,0014</b>	<b>0,0289</b>	<b>0,0006</b>	<b>0,0056</b>	<b>0,0497</b>

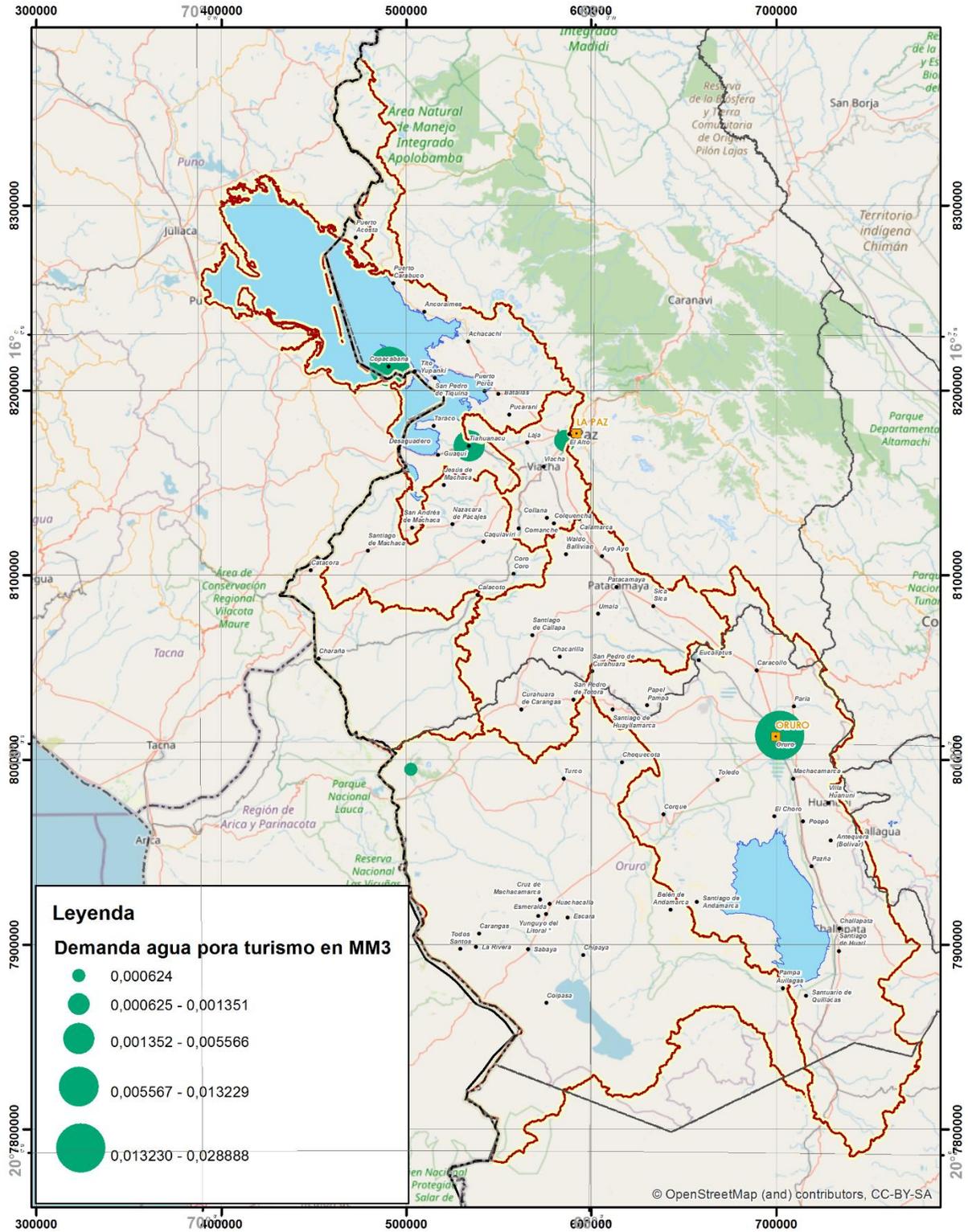
En la siguiente Figura se puede observar lo siguiente:

**Figura 76. Demanda anual de agua sector turismo por subcuenca y localidad (MMC)**



- En primer lugar la mayor demanda se presenta en la subcuenca Poopó con 58%, representada por la ciudad de Oruro, por la afluencia de turismo durante los carnavales,

Figura 77. Distribución espacial de la demanda anual de agua sector turismo



- En segundo lugar es la subcuenca Circunlacustre con 38%, representada por los municipios y localidades de Copacabana (27%) y Tiawanacu (11%). La primera se debe a la afluencia durante la semana santa, otras fechas festividad y cualquier día de visita turística y para efectos de ritos culturales. La segunda se debe a las visitas al sitio arqueológico de las ruinas de Tihuanacu.
- En tercer lugar está la subcuenca de Katari con 3%, representada por la ciudad de El Alto.
- En cuarto lugar está la subcuenca de Coipasa con el 1%, representada por el Parque Nacional de Sajama, con interesantes atractivos turísticos (nevado de altura, aguas termales, biodiversidad, entre otros).

En la Figura 77 se puede ilustrar la distribución espacial del mismo fenómeno turístico descrito anteriormente.

#### 4.5 Demanda actividad industrial

La demanda de agua del sector industrial está relacionada con la naturaleza de sus productos, la producción y la tecnología utilizada. En el presente estudio, la demanda de agua fue determinada a partir de la información extraída de los reportes de la Autoridad de Agua Potable y Saneamiento (AAPS), siendo la entidad competente de la otorgación de licencias para la explotación de fuentes de agua para el sector.

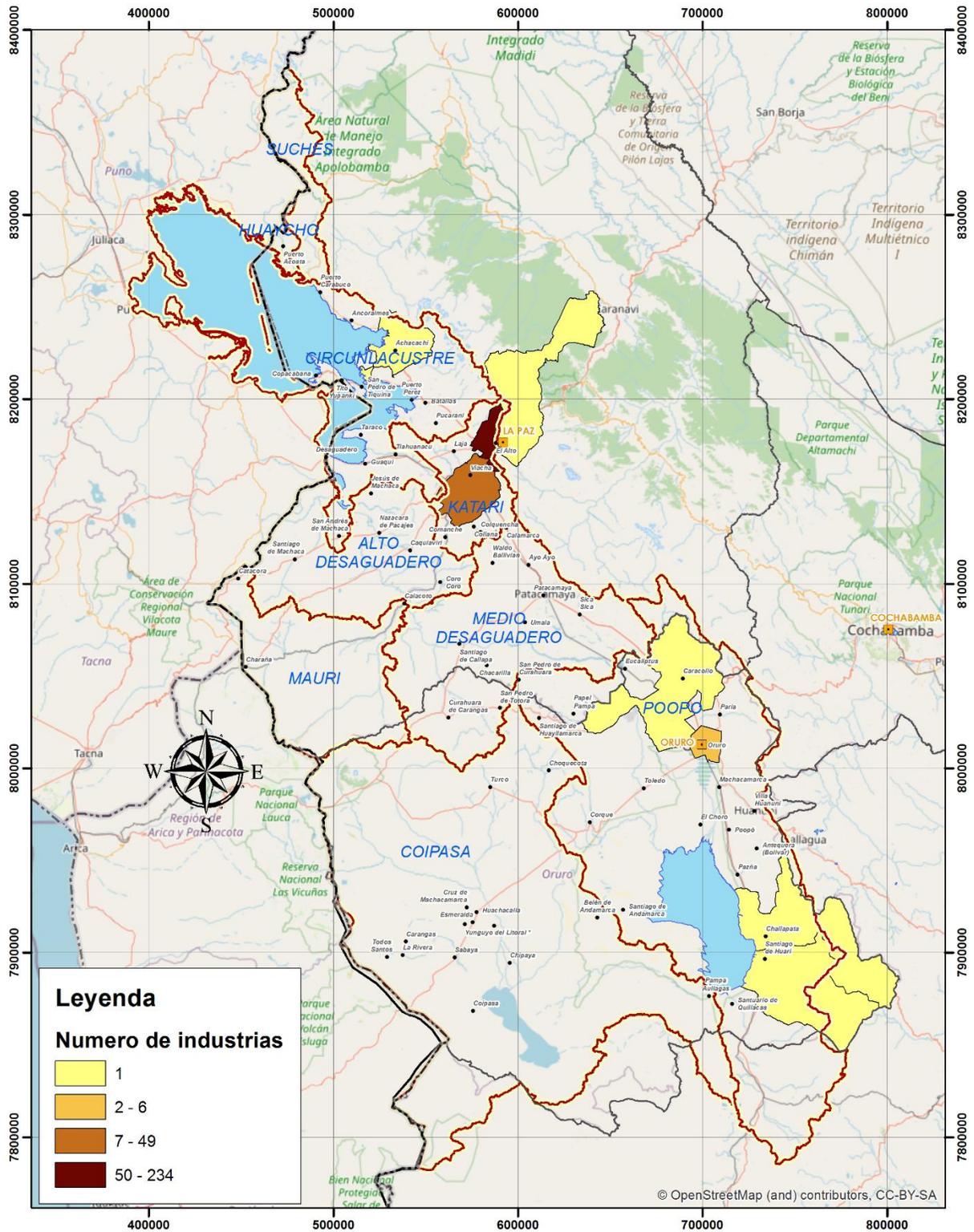
##### 4.5.1 Número de industrias

En la siguiente tabla se presenta el número de industrias y otros usos por subcuencas y municipios.

**Tabla 39. Número de industrias y demanda de agua por cuenca y municipios**

Subcuencas	Etiquetas de fila	Achacachi	Caracollo	Challapata	El Alto	Oruro	Santiago de huari	Viacha	Total general
Circunlacustre	Sin datos	1							1
	Con datos								
	Total	1							1
Katari	Sin datos				3			28	31
	Con datos				234			19	253
	Total				237			47	284
Poopó	Sin datos		1	1		1	1		4
	Con datos					5			5
	Total		1	1		6	1		9
Total	Sin datos	1	1	1	3	1	1	28	36
	Con datos				234	5		19	258
	Total	1	1	1	237	6	1	47	294

Figura 78. Número de industrias por municipio



Se observa que el número de industrias identificadas en la subcuenca Katari, se debe a la influencia directa de la ciudad de El Alto y el Municipio de Viacha, en segundo lugar, está la subcuenca Poopó, debido a la influencia de la ciudad de Oruro, en los tres casos se identifican las industrias en ciudades con alta concentración de población.

En términos generales, se observa que, de las 294 industrias identificadas, sólo 258 industrias (88%) cuentan con datos de consumo de agua, el resto no tiene.

La figura 78 muestra la distribución espacial del número de industrias por municipio, el mismo permite ilustrar la ubicación de las industrias, como ya fue mencionado, se encuentran concentradas en los municipios de Oruro, El alto y Viacha.

### Tipo de industrias

En la siguiente tabla se presentan los tipos de industrias por subcuencas, presente en el sistema TDPS. Se puede apreciar que el 96,6% corresponde a la subcuenca del Katari, el resto corresponde a la subcuenca del Poopó.

**Tabla 40. Tipo de industria por cuencas**

N°	Tipo de industria	Circunlacustre	Katari	Poopó	Total general	En %
1	Alimentos	1	38	2	41	14%
2	Bebidas		24	2	26	9%
3	Cemento		2	1	3	1%
4	Construcción		20		20	7%
5	Cuero y derivados		20		20	7%
6	Farmacéuticos		10		10	3%
7	Minerales no metálicos		6		6	2%
8	Otros		17	1	18	6%
9	Papel y derivados		6		6	2%
10	Plásticos		11		11	4%
11	Prendas de vestir		6		6	2%
12	Productos cerámicos		44		44	15%
13	Productos metálicos		18	3	21	7%
14	Productos petrolíferos		2		2	1%
15	Químicos		37		37	13%
16	Textiles		23		23	8%
17	Total general	1	284	9	294	100%
	<b>En %</b>	0,3%	96,6%	3,1%	100%	

En cuanto al tipo de industria, predominan las industrias alimenticias (14%), productos cerámicos (15%) y químicos (13%), el resto corresponden a los otros productos industriales.

#### 4.5.2 Demanda de agua para industria

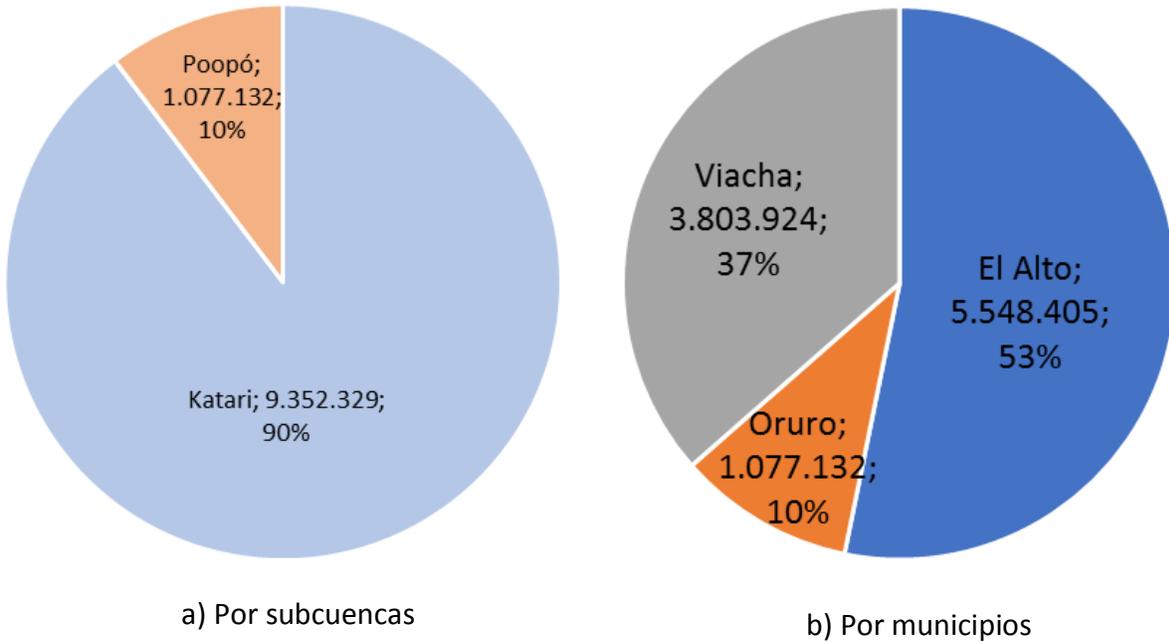
En la siguiente tabla se presentan la demanda de agua, por tipos de industrias, subcuencas y municipios. Se puede apreciar que el 53,2% corresponde al municipio de El Alto y 36,5% al municipio de Viacha, ambos de la subcuenca del Katari, el resto corresponde a la subcuenca del Poopó con el 10,3% (ver también la Figura 81). En cuanto al tipo de industria, los mayores consumidores de agua son la construcción (39,4%), la industria alimenticia (21,3%), bebidas (13,6%), el resto consume en % menores que 9%.

**Tabla 41. Demanda de agua del sector industrial**

Tipo de industria	Subcuenca Katari		Subcuenca Poopó	Total general	En %
	El Alto	Viacha	Oruro		
Alimentos	1.781.867,44	46.752,00	391.910,40	2.220.529,84	21,3%
Bebidas	1.325.952,04	40.787,28	46.656,00	1.413.395,32	13,6%
Cemento		96.036,00		96.036,00	0,9%
Construcción	501.158,84	3.611.520,00		4.112.678,84	39,4%
Cuero y derivados	97.434,00			97.434,00	0,9%
Farmacéuticos	102.370,80			102.370,80	1,0%
Minerales no metálicos	140.699,00			140.699,00	1,3%
Otros	101.585,64		6.220,80	107.806,44	1,0%
Papel y derivados	153.361,00			153.361,00	1,5%
Plásticos	80.257,00			80.257,00	0,8%
Prendas de vestir	83.994,24			83.994,24	0,8%
Productos cerámicos	580,00	8.829,12		9.409,12	0,1%
Productos metálicos	14.883,20		632.344,32	647.227,52	6,2%
Productos petrolíferos	192.844,80			192.844,80	1,8%
Químicos	105.082,32			105.082,32	1,0%
Textiles	866.334,70			866.334,70	8,3%
Total general	5.548.405,02	3.803.924,40	1.077.131,52	10.429.460,94	100,0%
En %	53,2%	36,5%	10,3%		

De acuerdo a los datos de la Tabla 41, la demanda de agua para el sector industrial es de 10.429.460,94 m<sup>3</sup>, de las cuales en la siguiente figura se puede apreciar que la subcuenca Katari demanda agua para el sector industrial en un 90% (9.352.229 m<sup>3</sup> de agua), concentrado en el municipio de El Alto y Viacha, el resto 10% de la demanda corresponde a la subcuenca Poopó, concentrado en el municipio de Oruro.

**Figura 79. Demanda de agua del sector industrial en m<sup>3</sup> por a) subcuencas y b) municipios.**



La siguiente figura ilustra que el sector construcción es el que demanda mayor cantidad de agua, le sigue alimentos, bebidas, textiles. No obstante, se puede remarcar que el sector de construcción en términos de cantidad representa sólo el 8%, pero en términos de demanda de agua es significativo, representa el 39%. El sector alimentos y bebidas representa el 21% y 14% de la demanda de agua total, respectivamente.

**Figura 80. Demanda de agua por tipo de industria**

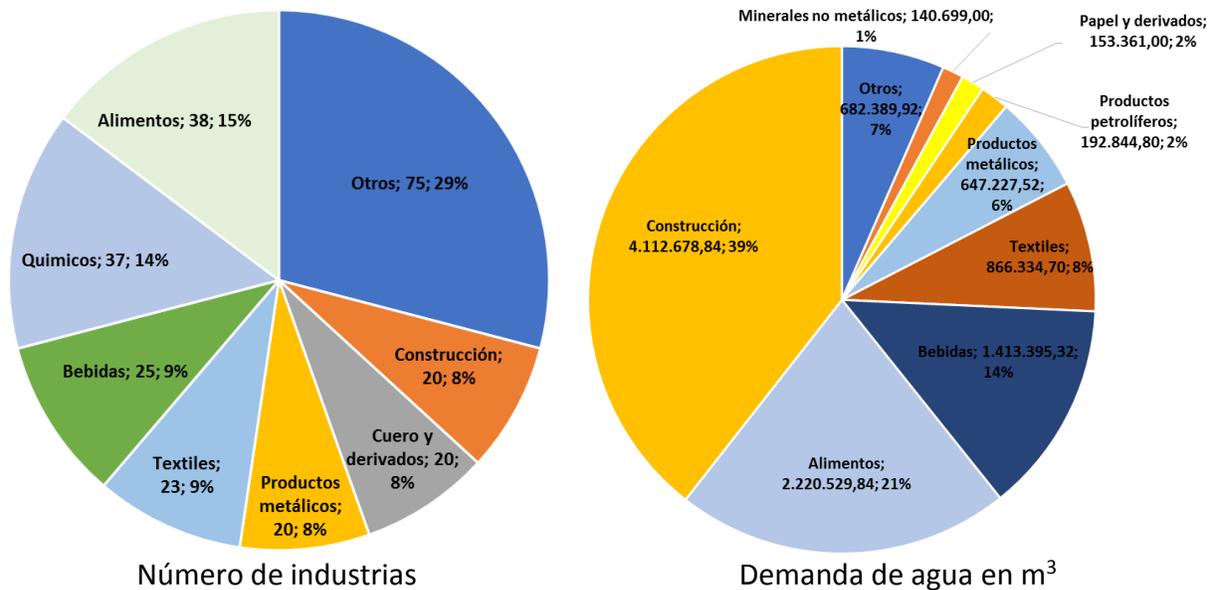
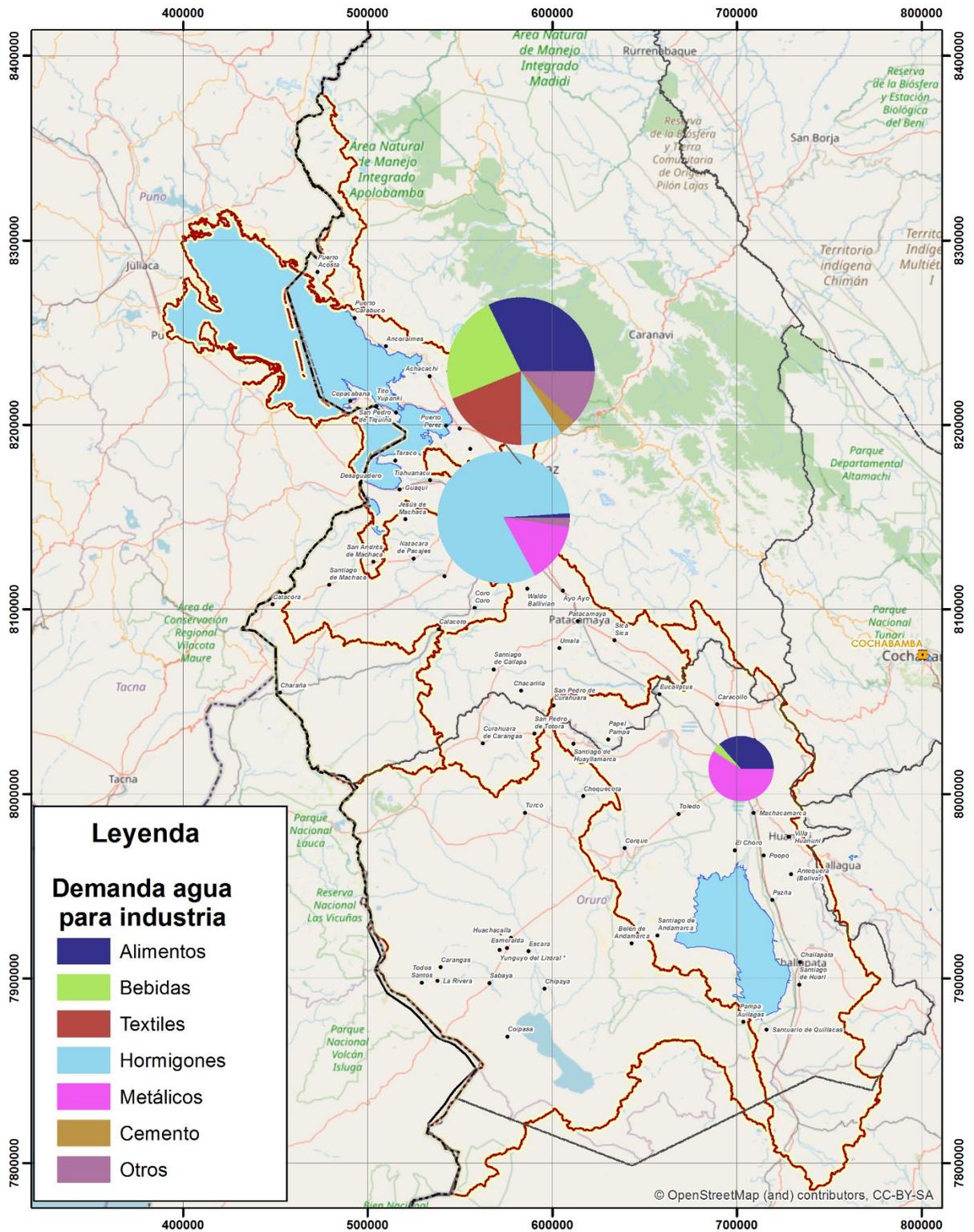


Figura 81. Demanda de agua del sector industrial, por subcuenca y tipo de industria



En la figura 81 se muestra la distribución espacial de la demanda de agua para uso industrial, por municipio (El Alto, Viacha y Oruro), y su estructura según tipo de industria. Se puede observar que la mayor demanda registrada se encuentra en los municipios de El Alto y Viacha. En el primero con uso en mayor porcentaje para industrias de alimentos y bebidas, y en el segundo, utilizado principalmente para la preparación de hormigón premezclado y elaboración de prefabricados de hormigón. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el registro no es completo por lo que esta información debe tomarse con carácter referencial. En el municipio de Oruro, el uso de agua en la industria está orientado principalmente a la fabricación de elementos metálicos. Asimismo, se hace notar que el procesamiento de minerales está considerado como sector minería.

#### 4.5.3 Proyecciones de demanda de agua para industria

De acuerdo a la publicación de la Cámara Nacional de Industrias (CNI), citado por Siles H. (2020), presenta el crecimiento promedio del Producto Interno Bruto del sector Industria desde 1994 hasta 2018, en la que se observa para los departamentos de La Paz y Oruro un crecimiento promedio de 3.74% y 2.02% respectivamente.

Para proyectar el crecimiento de la demanda hídrica del sector industria, se asume que el crecimiento del PIB es representativo, y que el incremento en el consumo de agua es proporcional al crecimiento del sector. En la **Tabla 42** se presenta la demanda de agua actual y proyecciones hasta el año 2050, para las subcuencas donde se encuentran concentradas las actividades industriales.

**Tabla 42. Demanda de agua del sector industria, actual y proyección al 2050 (MMC)**

Subcuenca	2020	2030	2040	2050
Katari	9,35	13,50	19,49	28,14
Poopo	1,08	1,32	1,61	1,96
Total	<b>10.43</b>	<b>14.82</b>	<b>21.10</b>	<b>30.10</b>

#### 4.6 Demanda actividad minería

El uso del agua para las operaciones mineras es diverso y depende del tipo de explotación de minerales y tecnologías aplicadas, por ejemplo, se tiene el uso de agua en el socavón para la refrigeración de barrenos, que representa una cantidad mínima; el uso del agua en los ingenios para el proceso de concentración del mineral, que representa una mayor cantidad de requerimiento de agua; en cuanto a las operaciones mineras auríferas en “chutes”, que generan una mayor turbiedad, uso de agua para mitigar la polvareda, entre otros.

La cantidad de agua utilizada en el ingenio depende del proceso de concentración del mineral, del tipo de mineral y las particularidades de la tecnología empelada, por ejemplo, si se realiza la recirculación del agua o no.

En el presente estudio, la demanda de agua de las operaciones mineras fue determinada a partir de la sistematización de datos de consumo de agua y las fuentes de donde se obtiene, reportados en los documentos de manifiestos ambientales, PPM-PASA y estudios de evaluación de impacto ambiental de las actividades mineras en el área del TDPS, proporcionada por la Dirección de Medio Ambiente del Ministerio de Minería y Metalurgia.

Para la estimación de la demanda se ha considerado que, por problemas de accesibilidad en época de lluvias, y otras donde por falta de agua en la época seca, se paralizan las actividades por aproximadamente 2 meses en ambos casos.

#### 4.6.1 Número de centros mineros

##### Número de centros mineros por subcuenca

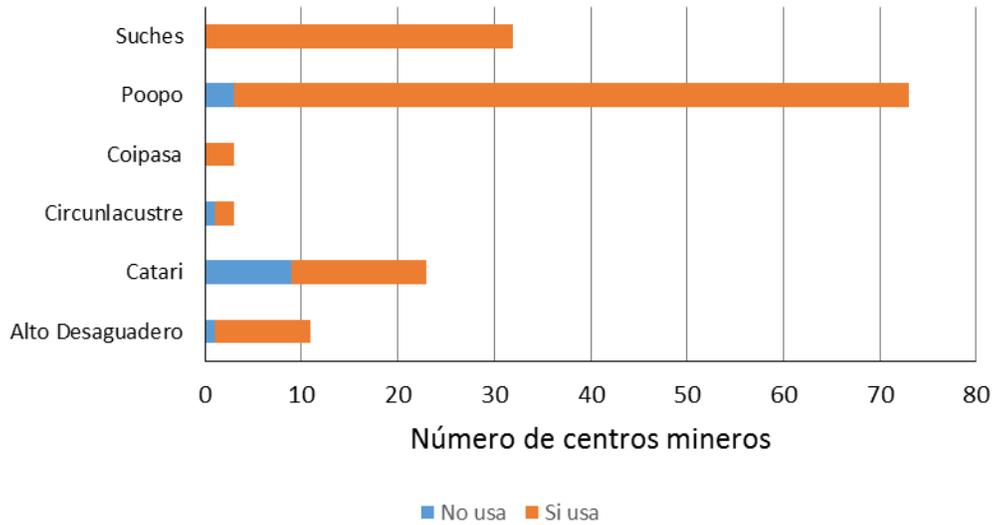
En la siguiente tabla se presenta el número de centros mineros identificados en el sistema TDPS, se observa que existen 145 centros mineros, de los cuales el 50% se encuentra en la subcuenca Poopó, 23% en Katari y 22% en Suches.

**Tabla 43. Número de centros mineros y demanda de agua anual por subcuencas**

Subcuenca	No usa agua	Si usa agua	N° de centros mineros	Demanda (m <sup>3</sup> )
Alto Desaguadero	1	10	11	151.576,8
Katari	9	14	23	194.746,8
Circunlacustre	1	2	3	172.800,0
Coipasa		3	3	160.950,0
Poopo	3	70	73	17.361.800,9
Suches		32	32	12.617.835,7
Total general	14	131	145	30.659.710,2

También se puede apreciar que el 90,4% de las operaciones mineras utilizan el agua, otras (9,6%) no utilizan el agua, principalmente las que se dedican a explotar la piedra caliza, arcilla, yeso, puzolana, piedra y material para rellenos, incluyen las colas de estaño. En efecto, en la siguiente figura se observa que la subcuenca Poopó y Suches tiene más operaciones mineras que usan el agua, la subcuenca Katari es la que tiene una buena cantidad de centros mineros que no utilizan el agua; el resto de las subcuencas tienen cantidades menores de centros mineros con y sin requerimiento de agua.

**Figura 82: Número de centros mineros por subcuencas**



**Número de centros mineros por municipio:**

En la siguiente tabla se presentan el número de centros mineros por municipio, en la que se puede identificar al menos 5 municipios con centros mineros que no consumen agua, tales como Viacha, Collana, Colquencha, Laja y Santiago de Huari, debido a que básicamente se realizan operaciones mineras con metálicas, descrito anteriormente.

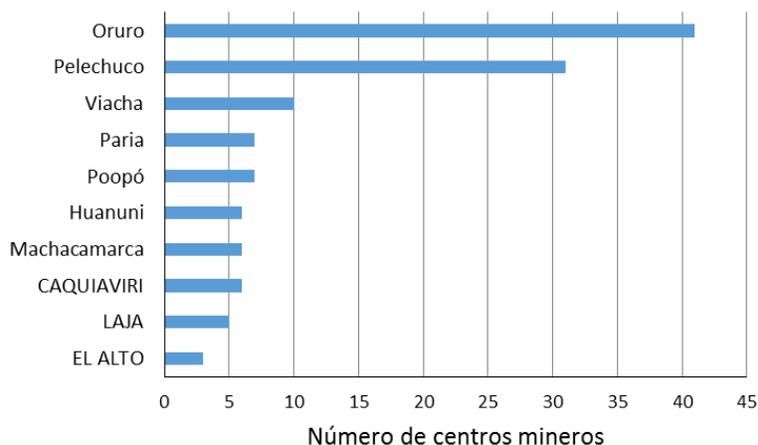
**Tabla 44. Número de centros mineros por municipios**

Subcuenca	No usa agua	Si usa agua	N° centros mineros
<b>Alto Desaguadero</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
Caquiaviri		6	6
Coro Coro		2	2
Corocoro		2	2
Viacha	1		1
<b>Katari</b>	<b>9</b>	<b>14</b>	<b>23</b>
Collana	1		1
Colquencha	1		1
El Alto	2	1	3
La Paz	1		1
Laja	2	3	5
Pucarani		2	2
Viacha	2	8	10
<b>Circunlacustre</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Laja	1		1
Pucarani		2	2
<b>Coipasa</b>		<b>3</b>	<b>3</b>
Llica		1	1
Turco		2	2
<b>Poopó</b>	<b>3</b>	<b>70</b>	<b>73</b>

Caracollo		2	2
Huanuni		3	3
Machacamarca		6	6
Oruro	2	39	41
Paría		7	7
Pazña		1	1
Poopo		7	7
Santiago De Huari	1		1
Toledo		1	1
Villa Huanuni		3	3
Vinto		1	1
<b>Suches</b>		<b>32</b>	<b>32</b>
Charazani		1	1
Pelechuco		31	31
<b>Total general</b>	<b>14</b>	<b>131</b>	<b>145</b>

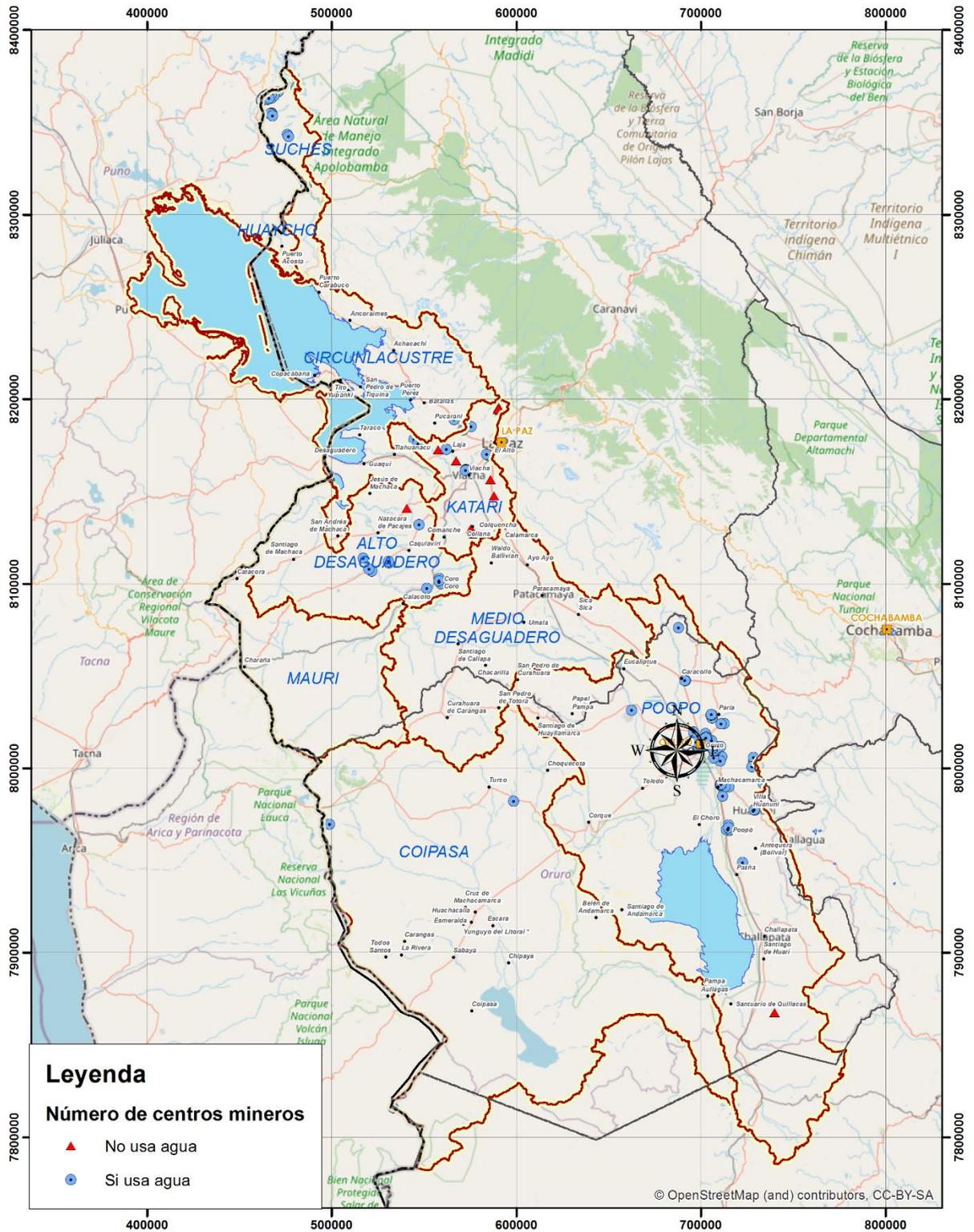
En la siguiente figura se observan los 10 municipios que concentran la mayor cantidad de centros mineros; se destacan los municipios de Oruro y Pelechuco con la mayor cantidad de centros mineros (mayor a 10).

**Figura 83: Número de centros mineros por municipio**



En la siguiente figura se presentan la distribución espacial de los centros mineros, en la que se puede corroborar que las subcuencas Poopó, Suches, Katari y Alto Desaguadero tienen la mayor concentración de actividades mineras. También se puede apreciar en la cuenca Katari que existen actividades mineras que hacen uso del agua en mínimas cantidades o prácticamente no usan, por ejemplo, los yacimientos de cal y yeso, entre otros ya descritos anteriormente. Las operaciones mineras que usan agua se concentran en las subcuencas de Poopó, Suches, y Alto Desaguadero.

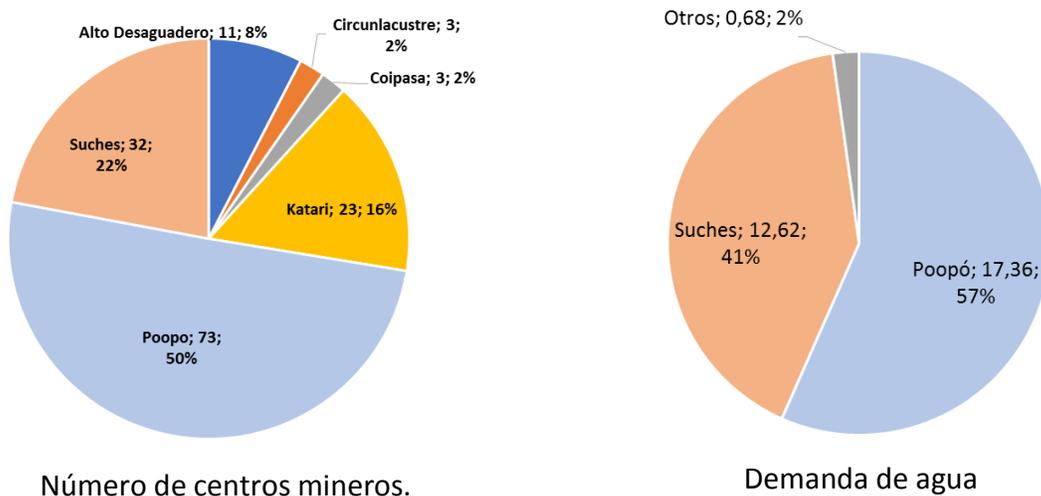
Figura 84: Distribución espacial de centros mineros



#### 4.6.2 Demanda de agua para minería

En la Tabla 43 se presenta un resumen de la demanda anual de agua por subcuenca, en metros cúbicos, en efecto, a partir de estos datos en la Figura 85 se puede apreciar que las subcuencas de Poopó con 57% y Suches con 41% son las que tienen mayor demanda de agua, abarcando entre ambas el 98% de la demanda. No obstante, en la misma figura se puede apreciar que si bien la subcuenca Katari es importante en términos de cantidad de centros mineros, pero en términos de cantidad de agua es mínimo, esto debido a que 9 operaciones mineras de los 14 no utilizan agua (ver Tabla 43).

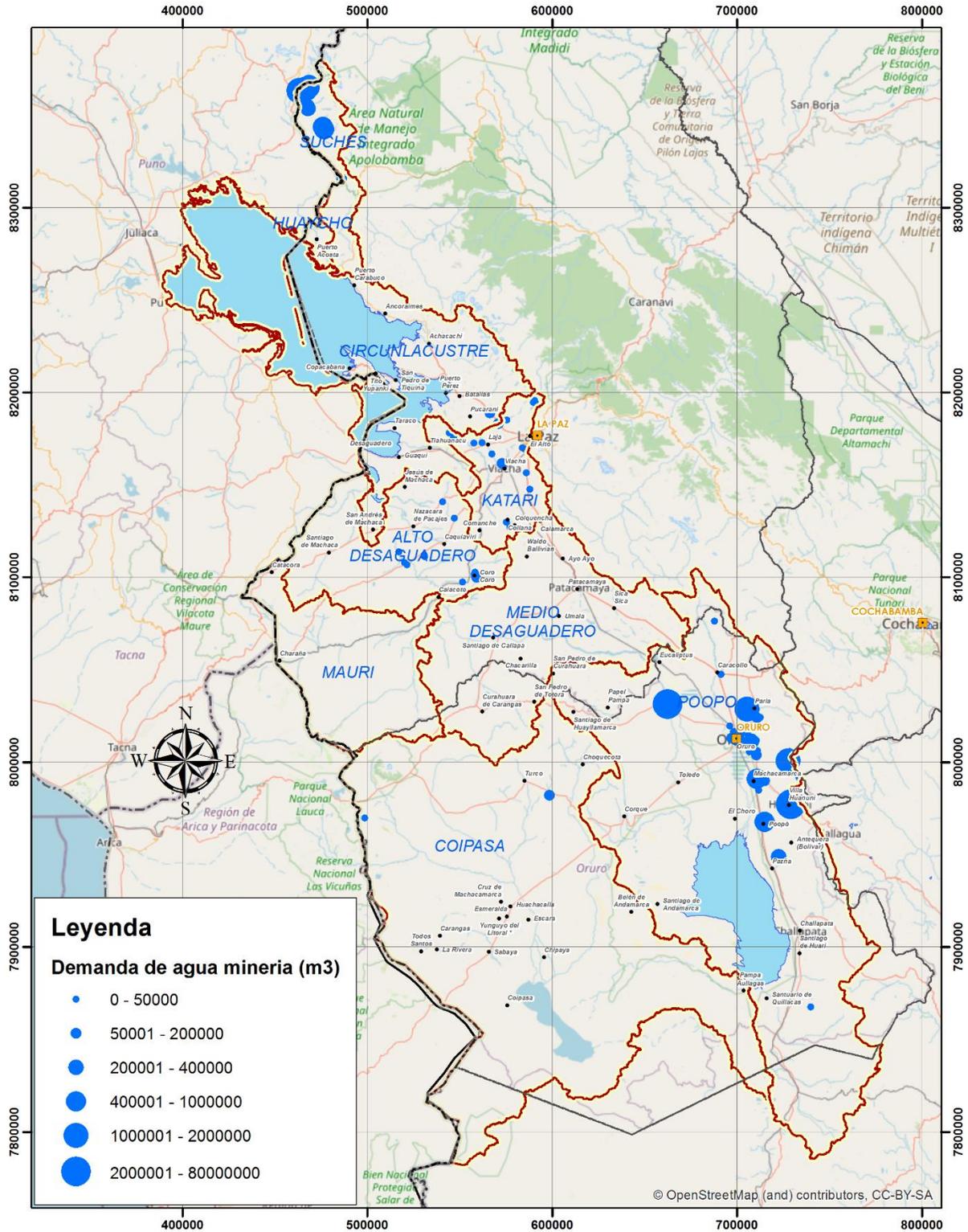
Figura 85. Número de centros mineros y demanda anual de agua por subcuencas (MMC)



Es importante hacer notar que se ha buscado construir relaciones entre el uso de agua y la producción de diferentes minerales, pero sin éxito, habiéndose obtenido nubes de punto sin una tendencia significativa que permita validar alguna relación. Esto muestra cierta debilidad en los documentos ambientales y en la validez de los valores reportados, sin embargo, no existe otra forma de acceso a este tipo de información.

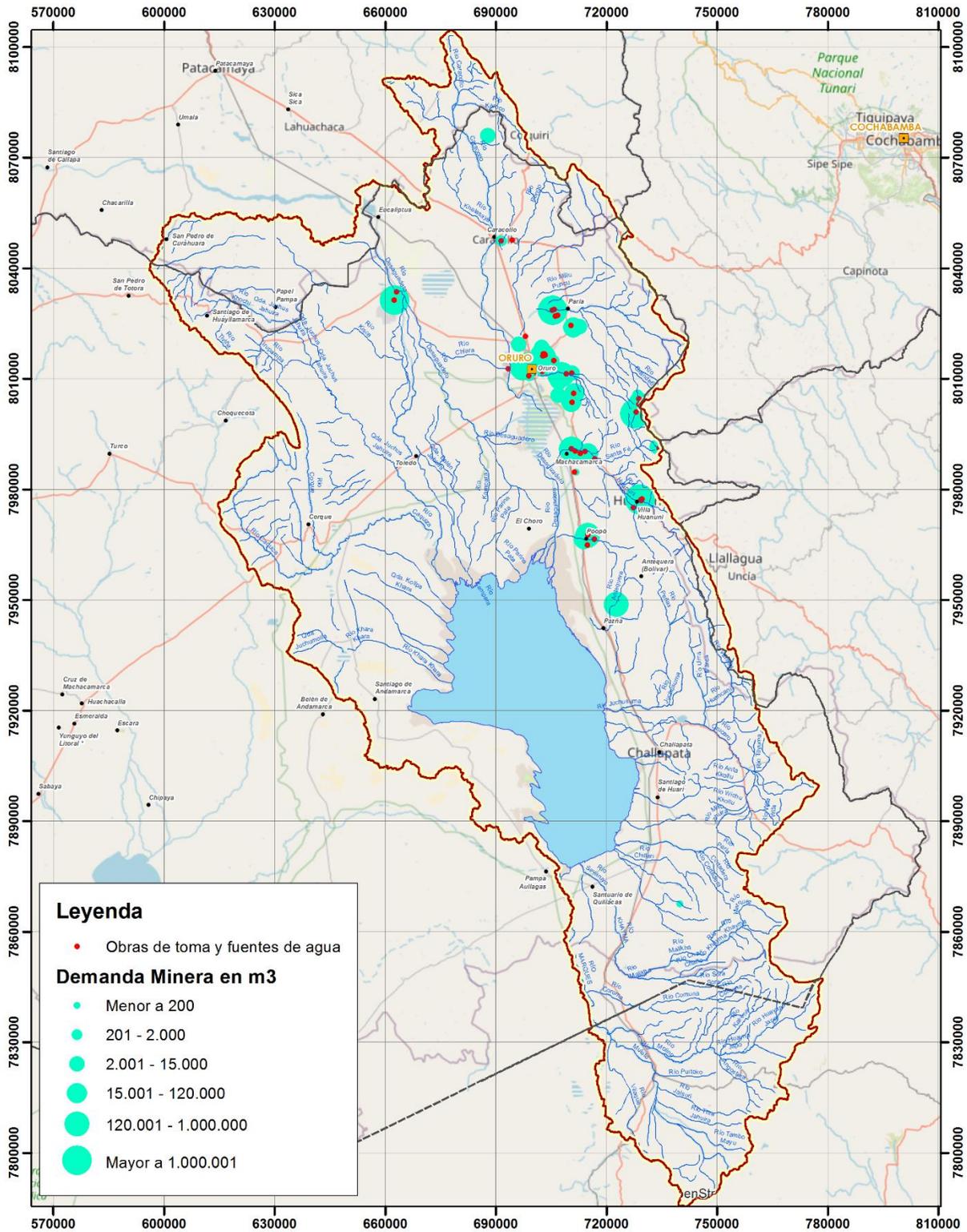
En la Figura 85 se muestra distribución espacial de la demanda anual de agua del sector minero por subcuencas, en la que se puede verificar lo mencionado anteriormente. Debe destacarse que las operaciones mineras de las subcuencas Poopó y Suches son las que consumen mayores volúmenes de agua, mayor a 500.000 m<sup>3</sup> anuales. En este sentido, para verificar en detalles en la Figura 87 y Figura 88 se ilustran la distribución espacial de la demanda de agua del sector minero en las subcuencas de Poopó y Suches, respectivamente.

Figura 86. Demanda de agua del sector minero en el TDPs



Fuente: Elaboración a partir de información del Ministerio de Minería y Metalurgia.

Figura 87. Demanda de agua del sector minero en la subcuenca Poopó





## Demanda de agua por municipio del sector minería

En la siguiente tabla se presenta el número de centros mineros y la demanda de agua por municipio, con base en estos datos fue elaborado la figura 89, en la que se observa que el municipio de Oruro y Pelechuco tienen la mayor cantidad de centros mineros, 26% y 20%, respectivamente. No obstante, en términos de cantidad de agua, los municipios con mayor demanda de agua son:

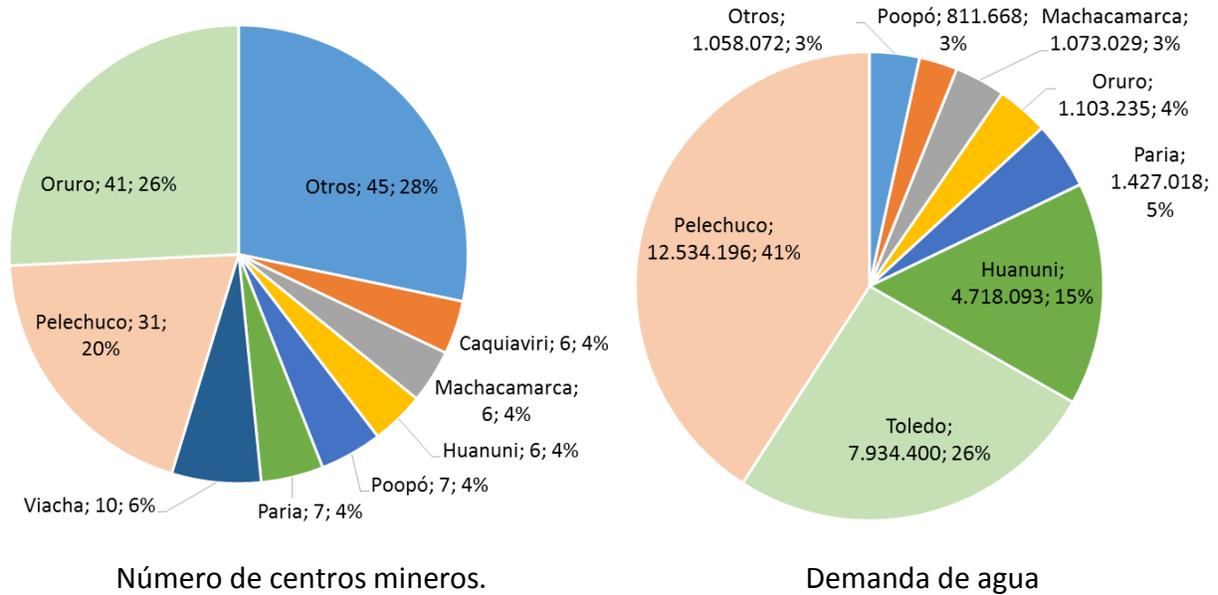
- Pelechuco con 41%, en la que se explotan básicamente el oro, en 31 operaciones mineras auríferas.
- Toledo con 26%, en la que se explotaba el oro y plata en la empresa minera Inti Raymi, aunque se encuentra actualmente en proceso de cierre.
- Huanuni con 15%, en la que se explotan el plomo, zinc, plata y estaño, en 6 operaciones mineras activas al presente.

**Tabla 45. Número de centros mineros por municipios**

Subcuenca	Demanda (m <sup>3</sup> )	Subcuenca	Demanda (m <sup>3</sup> )
<b>Alto Desaguadero</b>	<b>151.576,80</b>	<b>Poopó</b>	<b>17.361.800,88</b>
Caquiaviri	8.668,80	Caracollo	6.230,40
Coro Coro	36.024,00	Huanuni	1.181.100,00
Corocoro	106.884,00	Machacamarca	1.073.029,01
Viacha	0,00	Oruro	1.103.234,95
<b>Katari</b>	<b>194.746,80</b>	Paria	1.427.018,40
Collana	0,00	Pazña	288.000,00
Colquencha	0,00	Poopo	811.667,64
El Alto	446,40	Santiago De Huari	0,00
La Paz	0,00	Toledo	7.934.400,00
Laja	16.320,00	Villa Huanuni	3.536.992,80
Pucarani	42.939,60	Vinto	127,68
Viacha	135.040,80	<b>Suches</b>	<b>12.617.835,72</b>
<b>Circunlacustre</b>	<b>172.800,00</b>	Charazani	83.640,00
Laja	0,00	Pelechuco	12.534.195,72
Pucarani	172.800,00	<b>Total general</b>	<b>30.659.710,20</b>
<b>Coipasa</b>	<b>160.950,00</b>		
Llica	7.350,00		
Turco	153.600,00		

En resumen, la demanda de agua en el sector minero también depende del tamaño de las operaciones mineras, es el caso de Toledo y Huanuni.

**Figura 89. Número de centros mineros y demanda anual de agua por municipio (m<sup>3</sup>)**



#### 4.7 Agua ecosistemas (bofedales)

Una de las funciones ambientales importante del Sistema TDP es el mantenimiento de los humedales permanentes de altura denominados bofedales, son fuente de alimento para la biodiversidad vegetal y animal de la zona andina, son alimentadas por las precipitaciones, deshielo de los glaciales y flujo de aguas subterráneas.

##### 4.7.1 Área de bofedales

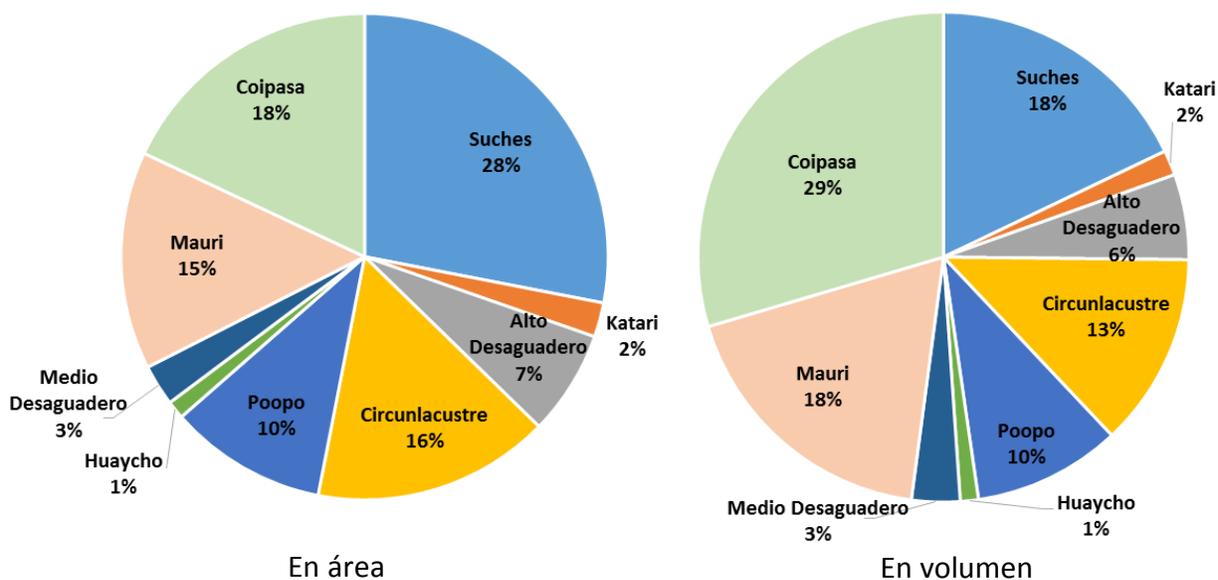
###### Bofedales por subcuencas

En este sentido, la estimación de la demanda de agua para el mantenimiento de bofedales se ha realizado mediante el mapeo de las áreas de bofedales, los resultados del mismo se presentan en la Tabla 46, en la que se puede verificar que existe una variabilidad del número de bofedales, área y volumen de demanda de agua para bofedales. Así, en la misma tabla y **Figura 90** se puede identificar que mientras la subcuenca Circunlacustre tiene mayor cantidad de bofedales, el área de los bofedales es intermedio (7.500 has), su demanda también es intermedio (13.601.189 m<sup>3</sup>), su demanda de agua en m<sup>3</sup>/ha es bajo (1.813 m<sup>3</sup>/ha); por otro lado en la subcuenca Coipasa, mientras la cantidad de bofedales es bajo (778), su área es intermedio (8.572 has), pero su demanda es elevado (31.423.088 m<sup>3</sup>/ha), asimismo la demanda de agua en m<sup>3</sup>/ha es también elevado (3.666 m<sup>3</sup>/ha). Bajo estas consideraciones, para fines comparativos el concepto de requerimiento de agua en m<sup>3</sup>/ha es un buen indicador de demanda de agua para el mantenimiento de bofedales.

**Tabla 46. Número, área, volumen y demanda de agua para mantenimiento de bofedales por subcuencas**

Subcuenca	Número de bofedales	Área de bofedal (ha)	Demanda de agua (m <sup>3</sup> )	Demanda de agua (m <sup>3</sup> /ha)
Alto Desaguadero	704	3.317	5.982.651	1.804
Katari	355	1.087	1.753.166	1.613
Circunlacustre	1.409	7.500	13.601.189	1.813
Coipasa	778	8.572	31.423.088	3.666
Huaycho	122	572	1.265.886	2.212
Mauri	765	6.899	19.460.040	2.821
Medio Desaguadero	378	1.302	3.387.405	2.602
Poopó	1.120	4.993	10.350.121	2.073
Suches	1.199	13.349	19.004.186	1.424
<b>Total general</b>	<b>6.830</b>	<b>47.591</b>	<b>106.227.733</b>	<b>2.232</b>

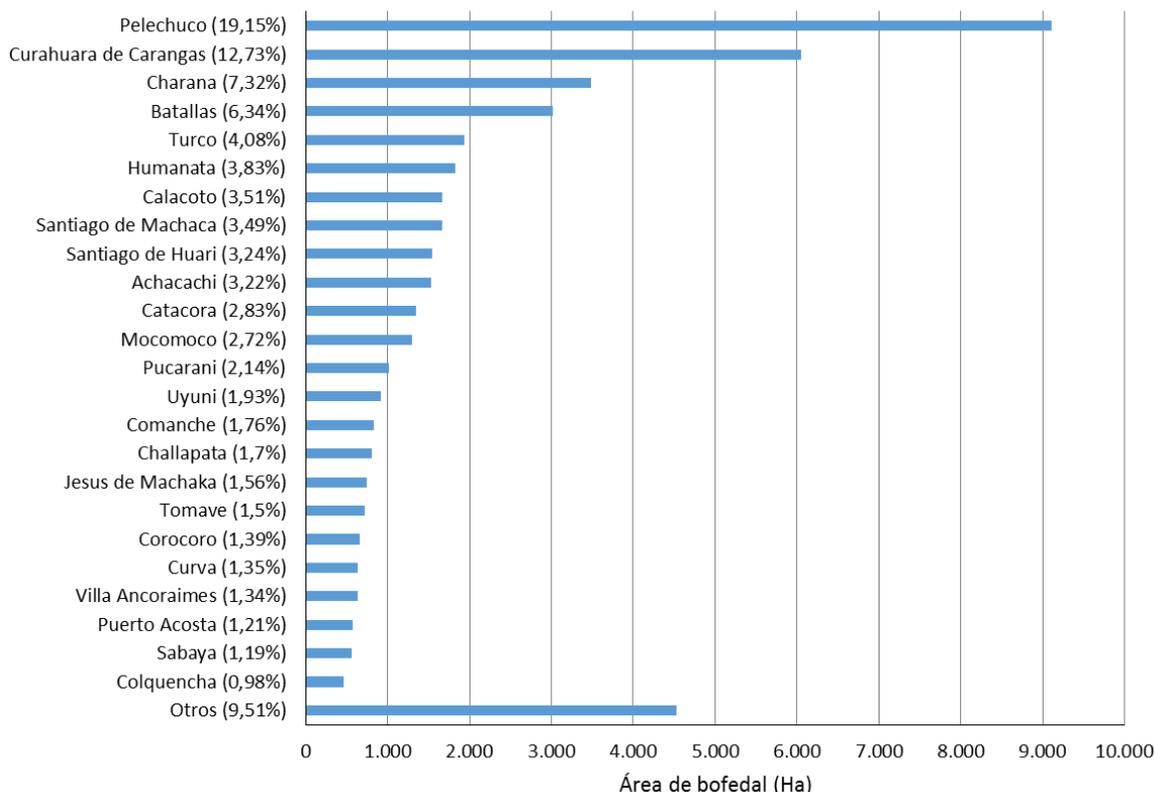
**Figura 90. Requerimiento de agua de bofedales en a) área (% de ha) y b) volumen (% de m<sup>3</sup>)**



### Bofedales por municipios

En la figura 91 se presenta la distribución de los 24 municipios con mayor área de bofedales, arriba de los 450 has, de las cuales podemos destacar con mayor e igual a los 3.000 has, los municipios de Pelechuco con 19,15%, Curahura de Carangas con 12,73%, Charaña con 7,37% y Batallas con 6,34%.

**Figura 91. Municipios con mayor superficie de bofedales**

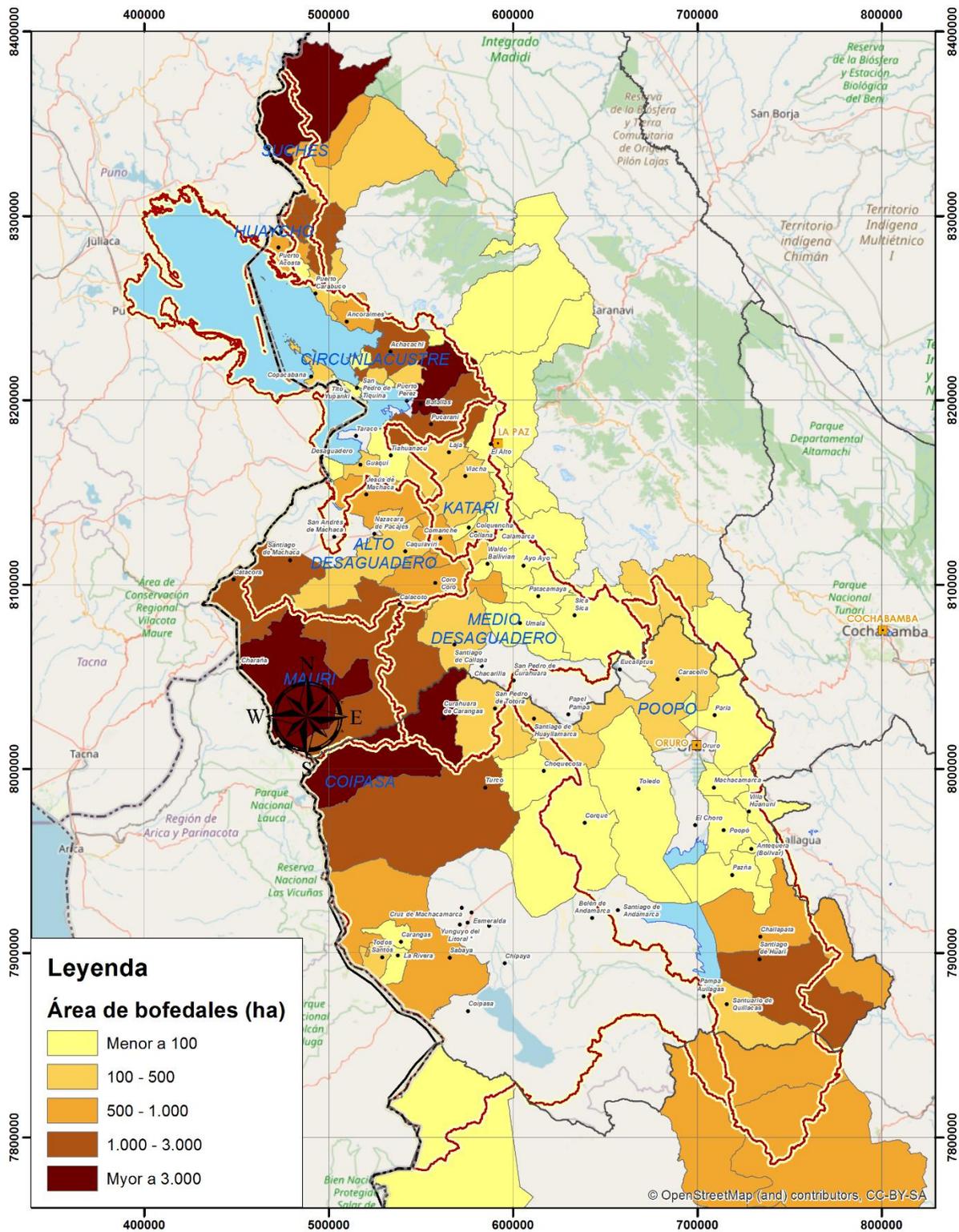


En la figura 92 se presenta la distribución espacial de bofedales por municipio, en la que se pueden visibilizar tres zonas con mayor superficie de bofedales:

- Al oeste del sistema TDPS, en las subcuencas de Mauri y Coipasa se encuentran los municipios de Charaña y Curahuara de Carangas con superficie de bofedales mayor a 3.000 has, le siguen los municipios de Catacora, Santiago de Machaca, Calacoto y Turco con una superficie entre 1.000 has a 3.000 has.
- Al norte del sistema TDPS, en las subcuencas Suches y Circunlacustre los municipios con mayor superficie de bofedales son Pelechuco y Batallas con más de 3.000 has, le siguen Pucarani, Achacachi y Mocomoco con una superficie entre 1.000 a 3.000 has.
- Al sud este del sistema TDPS en la subcuenca Poopó está el municipio de Santiago de Huari con entre 1.000 has a 3.000 has.

En la Figura 95 se presenta la distribución espacial de la superficie de bofedales por UH nivel 5, en la que se puede observar las mismas características descritas anteriormente. Además podemos identificar y destacar las UH con superficie de bofedales mayor a 500 has.

Figura 92. Distribución del área de bofedales por municipio (has)

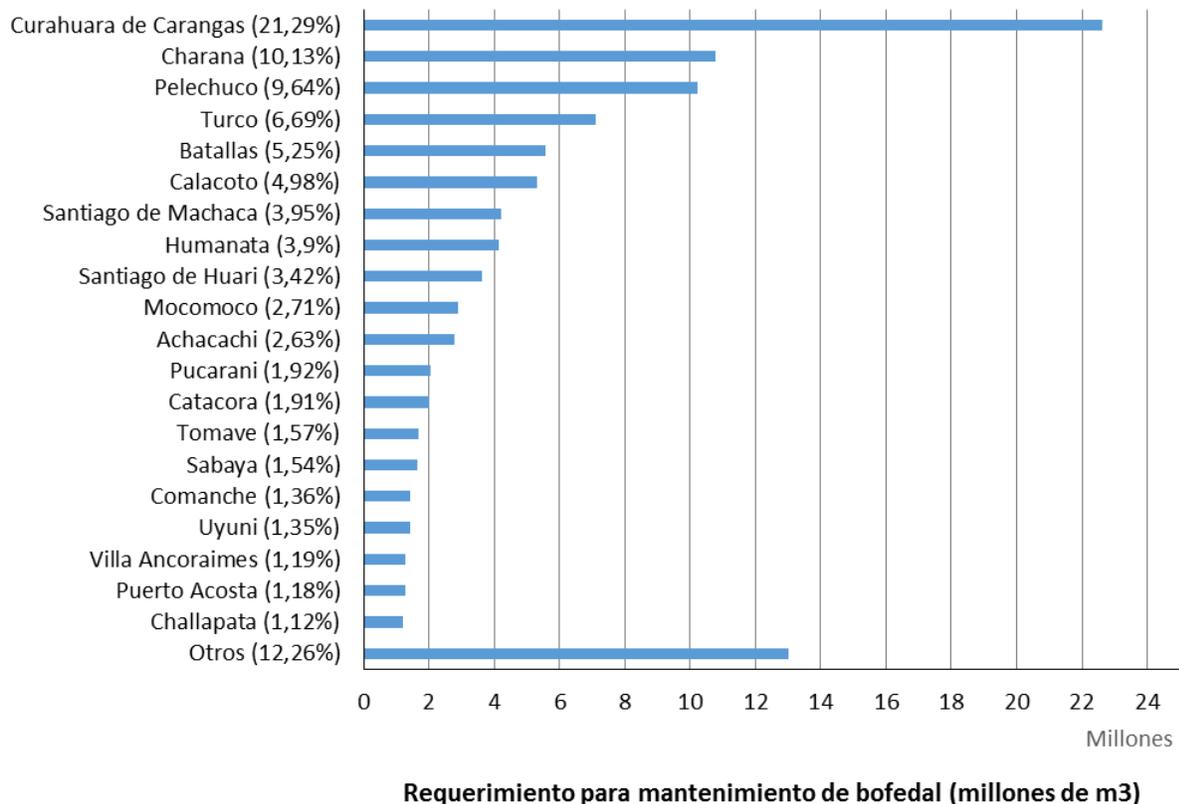


#### 4.7.2 Requerimiento de agua en volumen

En la Figura 93 se presenta la distribución de los 20 municipios con mayor demanda de agua para el mantenimiento de bofedales, arriba de los 1 millón de m<sup>3</sup>, de las cuales podemos destacar con mayor 6 millones de m<sup>3</sup>, los municipios de Curahuara de Carangas con 21,29%, Charaña con 10,13%, Pelechuco con 9,64%, Turco con 6,69%.

Si comparamos la figura 91 con la figura 93, se observa que algunos municipios ubicados al norte del Sistema TDPS, en torno al Lago Titicaca, han bajado de orden; en la Figura 93, en términos de volumen de agua, a pesar de tener cantidades significantes de superficie de agua, por ejemplo, el municipio de Batallas estaba en 4to orden (figura 91), ahora está en quinto orden (figura 93) y en su lugar el municipio de turco ascendió 4to orden, esto debido a que en la citada zona las precipitaciones son en torno de los 500 mm anuales, por tanto la demanda se reduce, mientras que la demanda aumenta en los municipios ubicados principalmente en la subcuenca Coipasa y Poopó debido a que en la zona la precipitación es menor a lo que ocurre en torno del Lago Titicaca.

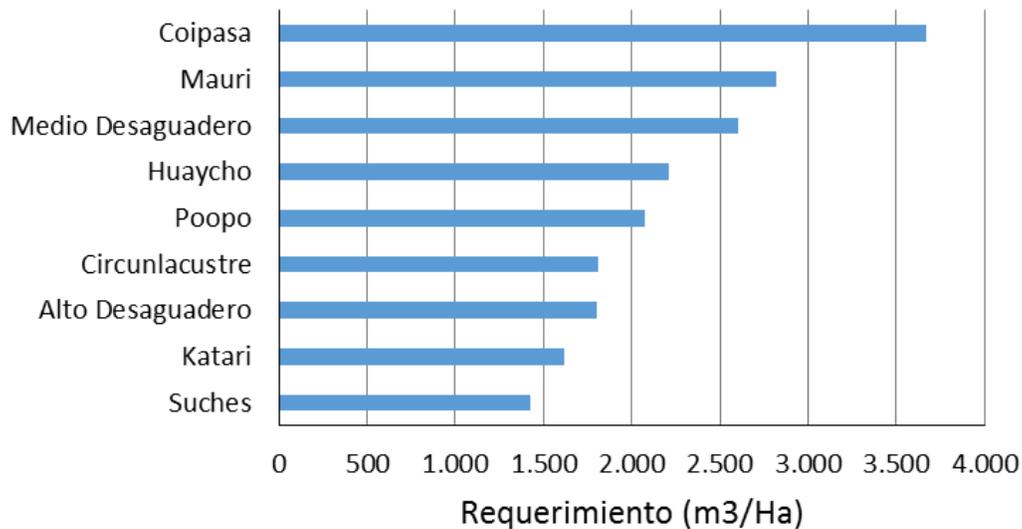
**Figura 93. Municipios con mayor requerimiento de agua para mantenimiento de bofedales**



### 4.7.3 Requerimiento de agua en m<sup>3</sup>/ha

Con base en los datos de superficie y el volumen de agua requerido para el mantenimiento de los bofedales se ha determinado el indicador de requerimiento de agua expresando en m<sup>3</sup>/ha. En este sentido, en la siguiente figura se presenta el mencionado indicador por subcuencas, en la que se puede observar que las subcuencas de Coipasa, Mauri, y Medio Desaguadero son los que tienen mayor demanda de agua para el mantenimiento de bofedales de altura.

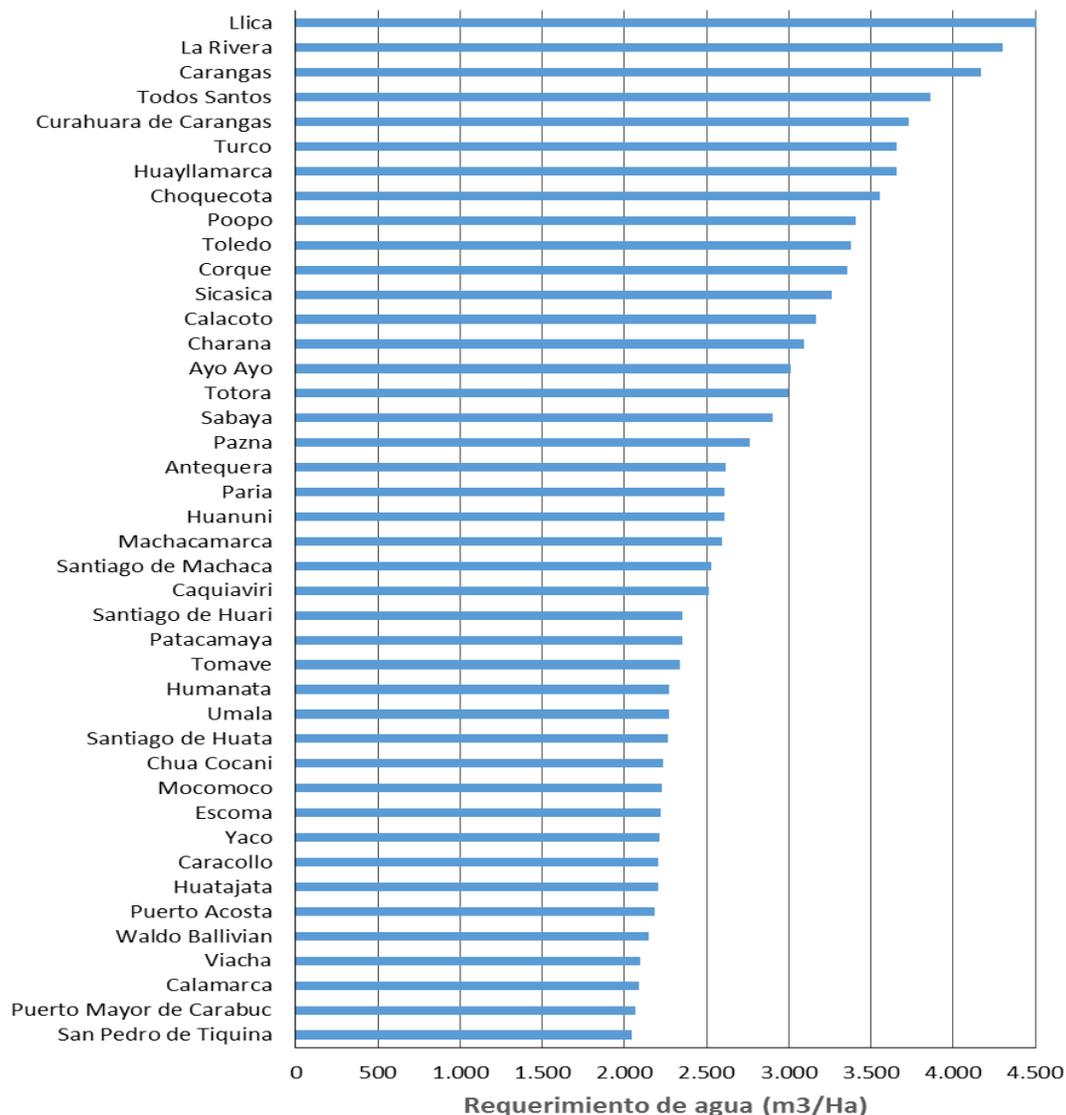
**Figura 94. Requerimiento de agua de bofedales (m<sup>3</sup>/ha)**



### Bofedales por municipios

En la siguiente figura se identifican los 42 municipios que tienen mayor demanda anual de agua para el mantenimiento de bofedales de altura, arriba de los 2.000 m<sup>3</sup>/ha. También se puede verificar que la mayor demanda de agua en m<sup>3</sup>/ha ocurren en los municipios de Llica, la Rivera, Carangas, Todo Santos, Curahura de Carangas, Turco, Huayllamarca, y Choquecota con demanda de agua para su mantenimiento arriba de los 3.000 m<sup>3</sup>/ha, todas ubicadas en la parte oeste del sistema TDPS, la mayoría en la subcuenca Coipasa.

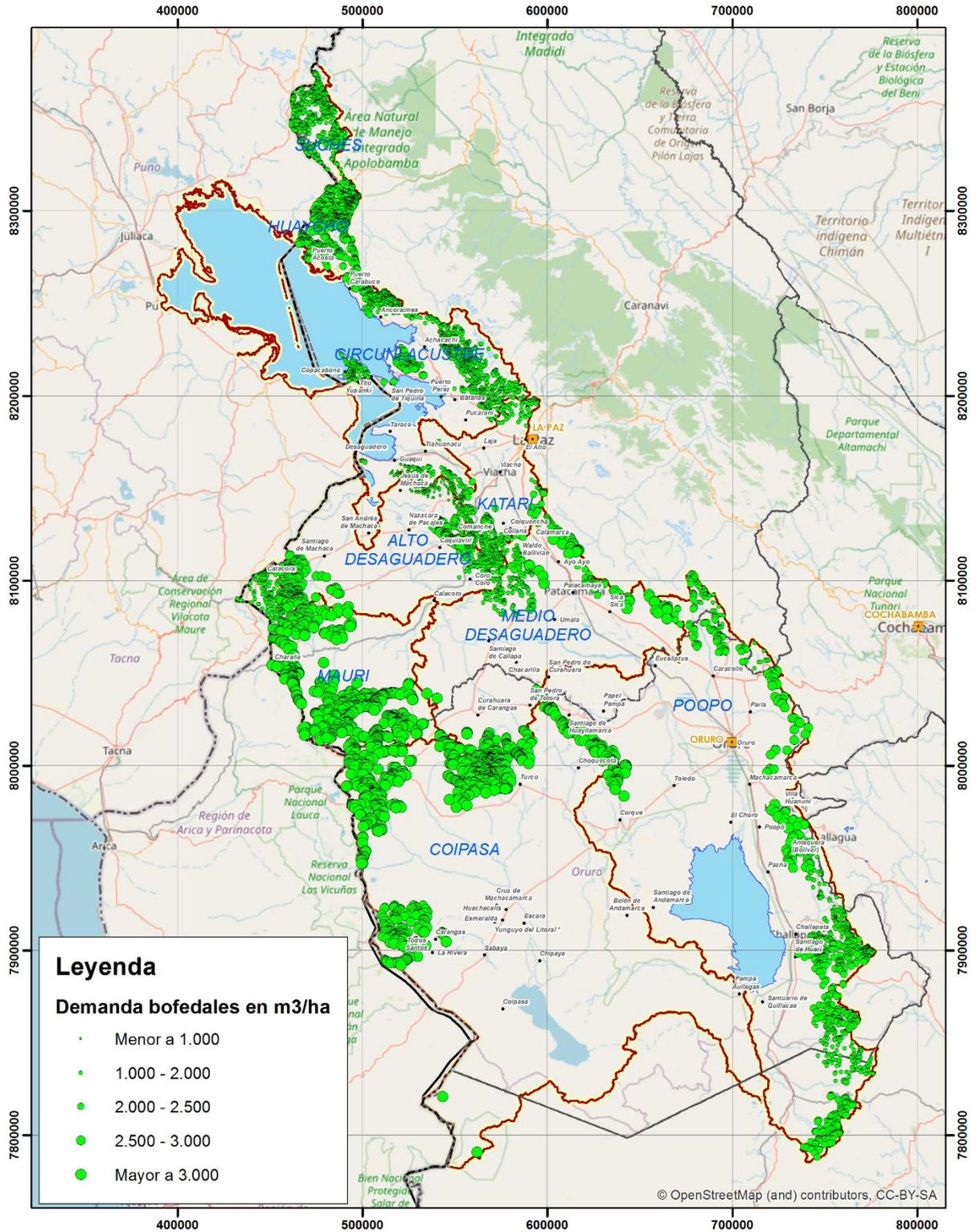
**Figura 95. Requerimiento anual de agua para mantenimiento de bofedales, en m<sup>3</sup>/ha**



En la siguiente figura se presenta la distribución espacial de requerimiento de agua para el mantenimiento de bofedales, expresado en m<sup>3</sup>/ha. A tiempo de comparar con la figura 92 y figura 95, se pueden apreciar y constatar las siguientes características y fenómenos:

- Las tres zonas visibles con mayor demanda de agua para el mantenimiento de bofedales, descritas anteriormente (al oeste del sistema TDPS, al norte del sistema TDPS y al sud este del sistema TDPS), han cambiado en términos del indicador de demanda expresado en m<sup>3</sup>/ha.
- Al oeste del sistema TDPS, según el indicador expresado en m<sup>3</sup>/ha, se ha incrementado la superficie con mayor demanda de agua para el mantenimiento de bofedales, mayor a 3.000 m<sup>3</sup>/ha, en el eje desde Charaña hasta Corque y en el eje sud oeste desde Charaña

Figura 96. Distribución espacial del requerimiento de agua para mantenimiento de bofedales



hasta Todo Santos, inclusive alcanza hasta el municipio de Copipasa, esto debido a que en la referida zona las condiciones climáticas e hidrológicas predisponen a un déficit hídrico con clima árido, principalmente porque las precipitaciones son bajas en torno de los 100 a 200 mm anuales. En este contexto se puede concebir los bofedales en esta zona como vulnerable y sensible al cambio climático.

- Al norte del sistema TDPS, se observa alta demanda en términos de volumen, ahora según el indicador de demanda en m<sup>3</sup>/ha, no son las más altas, oscilando una demanda de segundo nivel, entre 1.000 m<sup>3</sup>/H a 2.500 m<sup>3</sup>/ha. Este hecho se debe a que la zona norte del sistema TDPS es húmeda, con precipitaciones en torno de los 500 mm anuales o más. No obstante, no deja de ser vulnerable al cambio climático, debido a que los glaciales se encuentran en proceso de retroceso, por tanto las oportunidades como fuente de aporte de agua a los bofedales tiende a reducirse.
- Al sud este del sistema TDPS, se mantienen con alta demanda, en torno de los 2.000 m<sup>3</sup>/ha a 2.500 m<sup>3</sup>/ha.

En este contexto, en términos generales se puede apreciar que el indicador de demanda expresado en m<sup>3</sup>/ha, permite hacer comparaciones más efectivas de la demanda hídrica para el mantenimiento de los bofedales, puede representar la sensibilidad de los mismos ante los efectos de los cambios climáticos.

#### 4.8 Demanda hídrica multisectorial

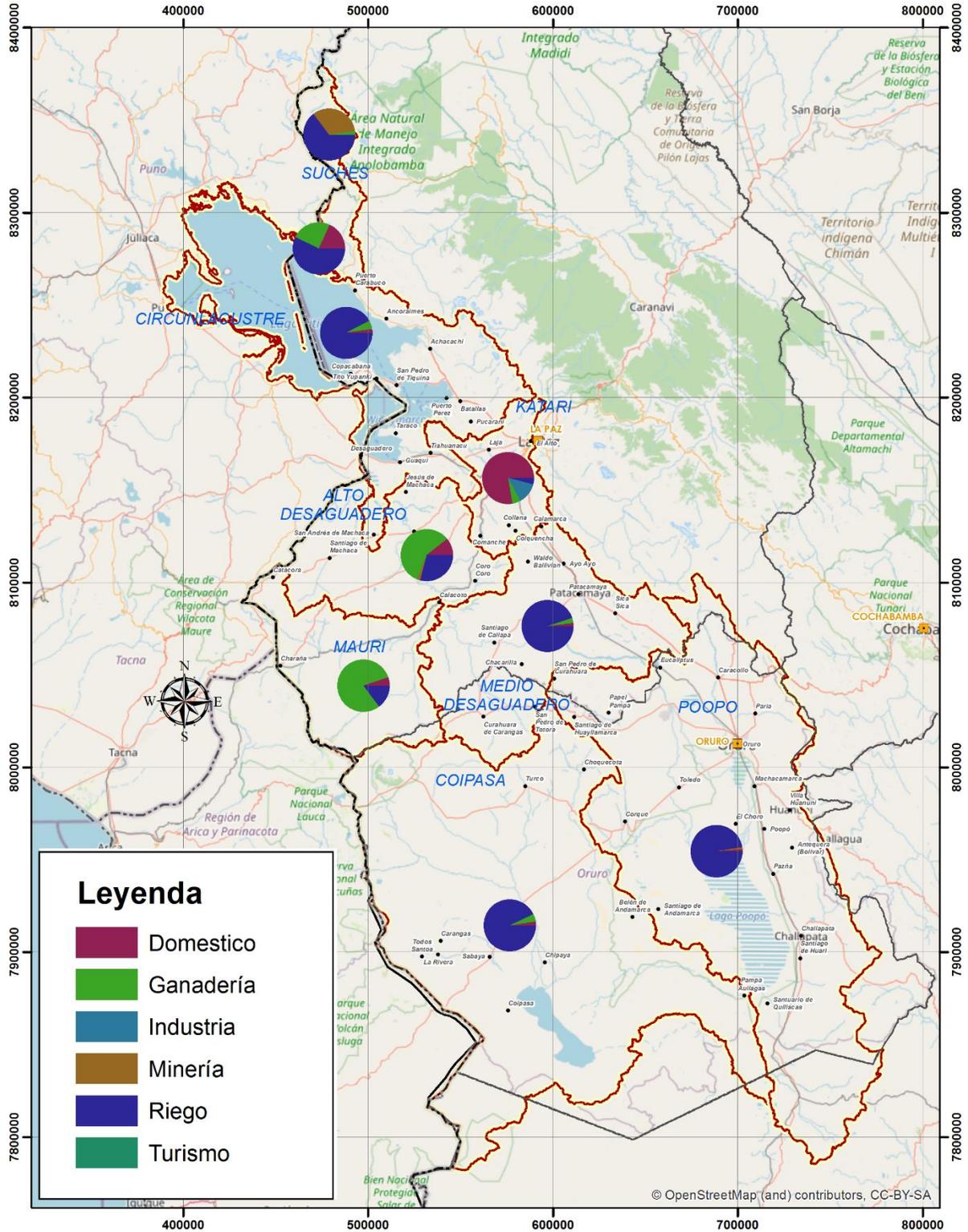
En la siguiente tabla se muestra la demanda anual de agua, en hectómetros cúbicos por subcuencas y por diferentes sectores. La demanda anual de agua al 2020 se estima en 2.235,45 millones de metros cúbicos (MMC).

**Tabla 47. Demanda de agua en TDPS por subcuencas y sectores (MMC)**

Subcuenca	Sector						Total (MMC)
	Consumo humano	Ganadería	Industria	Minería	Riego	Turismo	
Alto Desaguadero	0,74	3,99	0	0,15	1,93	0	6,81
Circunlacustre	3,69	7,92	0	0,17	161,80	0,019	173,60
Coipasa	0,92	1,98	0	0,16	37,44	0,001	40,50
Externa	23,43	0,00	0	0	0,00	0	23,43
Huaycho	0,15	0,21	0	0	0,27	0	0,63
Katari	55,04	3,48	9,35	0,19	3,54	0,001	71,60
Mauri	0,11	1,82	0	0	0,13	0	2,06
Medio Desaguadero	2,17	4,07	0	0	288,54	0	294,78
Poopó	16,00	7,95	1,08	17,36	1.560,02	0,029	1.602,44
Suches	0,37	0,79	0	12,62	5,81	0	19,60
<b>Total</b>	<b>102,63</b>	<b>32,21</b>	<b>10,43</b>	<b>30,66</b>	<b>2.059,48</b>	<b>0,050</b>	<b>2.235,45</b>

1 MMC = 1 Hm<sup>3</sup>

Figura 97. Distribución espacial de la demanda de agua total anual



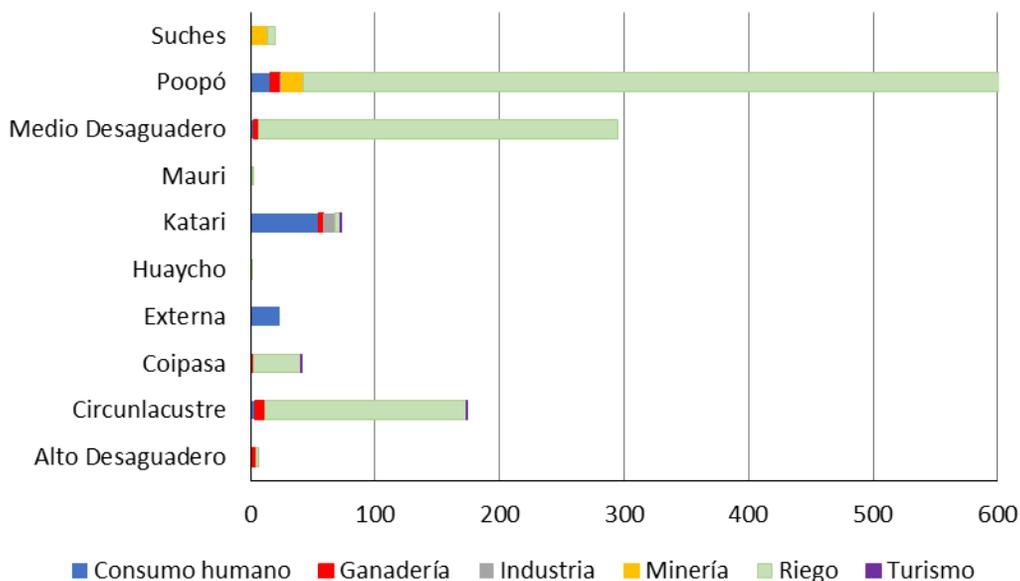
Con base en los datos de la tabla 47, fue elaborado la figura 97, en la que mediante gráficas se puede visibilizar las demandas sectoriales por cuencas. Al respecto, a continuación se describen las características de las demandas por cuencas y por sectores.

### **Demanda de agua total por subcuencas**

La figura 98 muestra la demanda hídrica multisectorial total y anual por subcuencas, permite identificar que la subcuenca Poopó tiene la mayor demanda de agua debido principalmente al uso de agua para riego, este hecho le sigue la subcuenca Medio Desaguadero y Circunlacustre. La demanda de agua total en la subcuenca Katari se debe principalmente al sector de agua para consumo humano para las ciudades de El Alto y Viacha, le sigue la cuenca externa que representa el trasvase de agua para algunas zonas de la Ciudad de La Paz, en tercer lugar está la subcuenca Poopó con demanda de agua para la ciudad de Oruro.

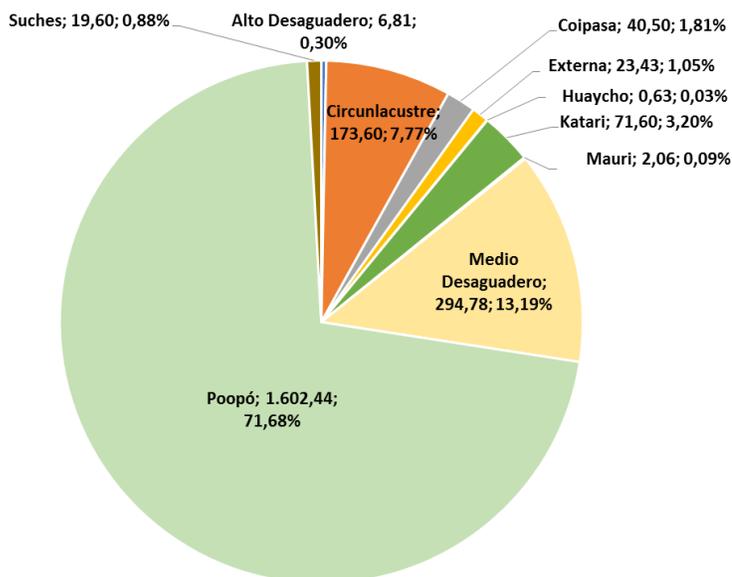
La demanda de agua en las subcuencas de Suches y Poopó también están representadas por la minería, aunque en proporciones menores. Las subcuencas de Poopó, Katari, Circunlacustre y Medio Desaguadero también representada su demanda de agua por una pequeña fracción para el sector de ganadería. Las subcuencas con demanda de agua del sector industrial se concentran en Katari y Poopó. Finalmente hay una pequeña fracción de demanda de agua para el sector Turismo en las cuencas de Circunlacustre, Coipasa, Katari y Poopó.

**Figura 98. Demanda de agua multisectorial total y anual por subcuencas (MMC)**



Como se puede observar en la figura 99 la mayor demanda corresponde a la subcuenca Poopó con un total de 1.602,44 MMC (71,68%), le sigue en segundo lugar la Subcuenca Medio Desaguadero con un total de 294,78 MMC (13,19%), en tercer lugar está la Subcuenca Circunlacustre con un total de 173,6 MMC (7,77%), el resto es menor al 4%.

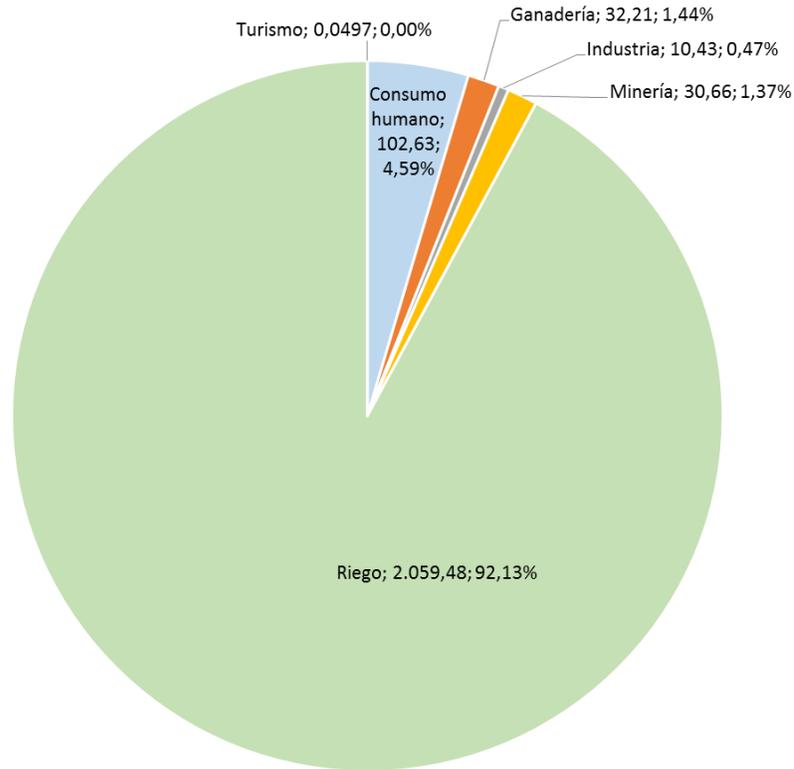
**Figura 99. Demanda total anual de agua por subcuencas (MMC)**



En la figura 100 se muestra la distribución de la demanda de agua multisectorial anual y actual (2020) en el territorio boliviano del sistema TDPS, en la que se puede identificar y destacar los siguientes hechos:

- La mayor demanda corresponde al sector riego con un total de 2.059,48 MMC (92,13%), por lo que se constata la necesidad de mejorar su eficiencia de riego con la visión de ampliar la frontera del área bajo riego.
- En segundo lugar, la demanda de agua para consumo humano es de 102,63 MMC (4,59%), lo que implica la necesidad de garantizar el abastecimiento de agua en los centros poblados con mayor tasa de crecimiento poblacional.
- En tercer lugar, se ubica la demanda de agua para el sector ganadería con 32,21 MMC (1,44%), toda vez que la potencialidad ganadera depende de la disponibilidad de agua para la producción de forrajes, así, la carga animal actualmente es muy pobre, existiendo la necesidad de mejorar este indicador en la mayoría de los municipios y cuencas.
- En cuarto lugar, está la demanda de agua para el sector minero, con 30,66 MMC (1,37%), ubicado principalmente en las subcuencas de Poopó y Suches.
- En quinto lugar, está la Industria con 10,43 MMC (0,47%) concentrado en los municipios de El Alto, Viacha y Oruro.
- Finalmente, se advierte que la demanda del sector turismo es despreciable frente a las demás, con tan sólo 0,005% de participación.

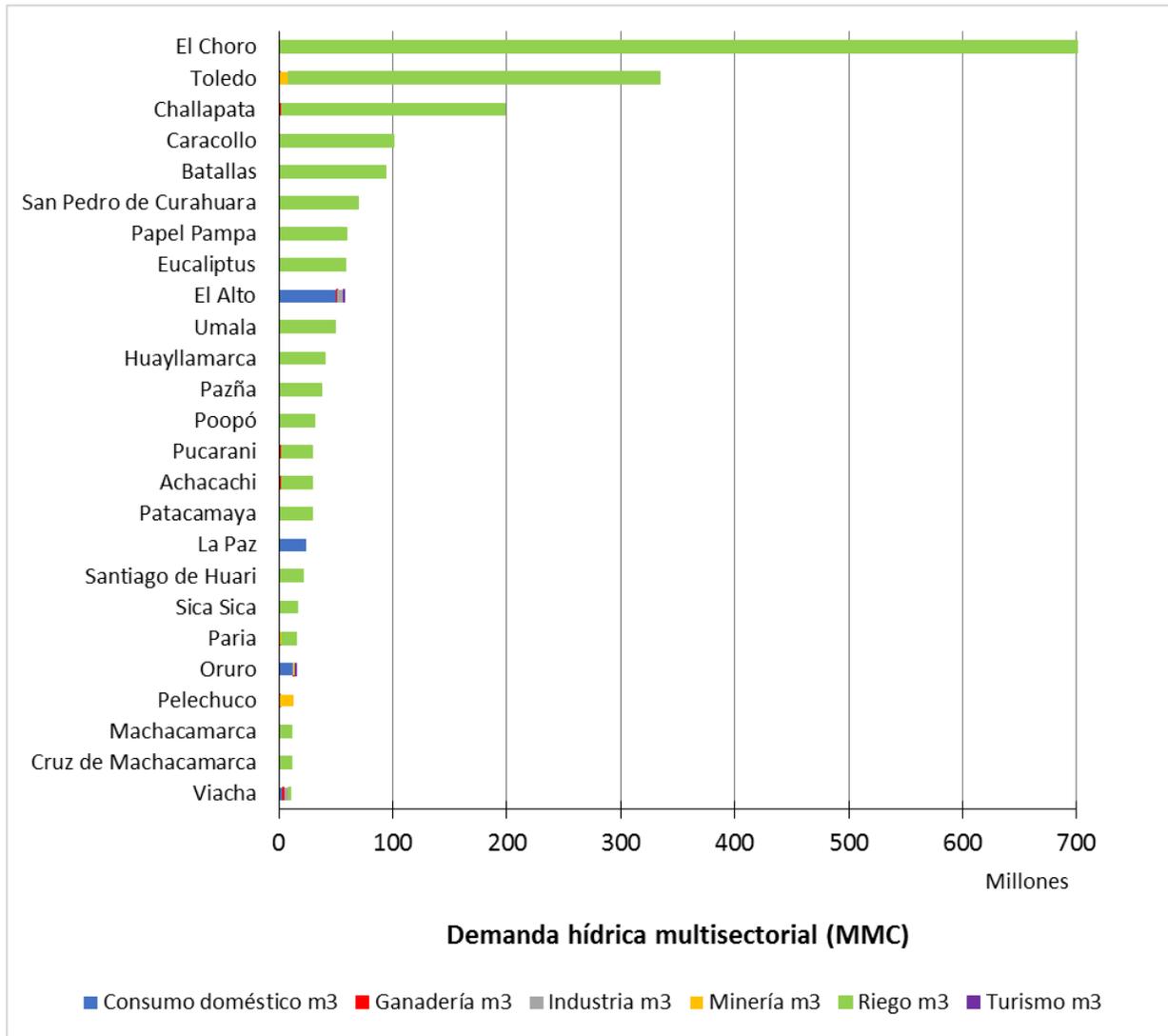
**Figura 100. Demanda anual de agua en TDPS por sectores (MMC)**



### **Demanda de agua total por municipio**

En la siguiente figura se presentan los municipios con demanda hídrica multisectorial total y anual mayor a 10 MMC; se observa que el municipio de El Choro, Toledo y Challapata tienen una mayor demanda de agua arriba de 200 MMC; la mayoría de los municipios su demanda de agua está representada por el sector riego; la demanda de agua de los municipios de El Alto, La Paz y Oruro están representadas por el sector agua para consumo humano; la demanda hídrica del sector minero se aprecia en los municipios de Toledo, Oruro, Paría y Poopó; una pequeña fracción de demanda hídrica para el sector ganadería se puede visibilizar en los municipios de Challapata, Achacachi, Pucarani, Patacamaya, Toledo, Paría, Poopó, Sica Sica, Umala; también se puede visibilizar una pequeña porción de demanda de agua para la industria en los municipios de El Alto y Oruro.

**Figura 101. Municipios con mayor demanda de agua anual, mayor a 10 MMC**



## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir del procesamiento, amalgamación y análisis de los datos e información secundaria y obtenida en trabajo de campo para la estimación de la demanda hídrica multisectorial, a continuación, se presentan las conclusiones y recomendaciones.

### 5.1 Conclusiones

Sector consumo humano (agua potable):

- Se ha identificado 3.051 centros poblados distribuidos en 5 categorías; la categoría “E” representa el 99,12%, el resto 0,88% corresponde a la categoría de “A” (> 500.000 habitantes) hasta “D” (2.000 – 10.000 habitantes).

- Al año 2020 se ha estimado una población total de 2.800.260 habitantes; la subcuenca Katari, tiene la mayor población con 1.316.835 habitantes (47,03%), le sigue la cuenca Poopó con 499.874 habitantes (17,85%) y la subcuenca Circunlacustre con 205.133 habitantes (7,33%). Debe hacerse notar que 534.980 habitantes (19,01%) se benefician del agua potable, por medio de trasvase del Sistema TDPS a zonas de la Ciudad de La Paz.
- La demanda de agua para consumo humano es de 102,63 millones de m<sup>3</sup>, representa una participación del 9,83% de total de la demanda hídrica multisectorial del sistema TDPS.
- En las subcuencas de Katari y Poopó se encuentran las principales ciudades de los departamentos de La Paz y Oruro, por tanto tienen una mayor demanda de agua para consumo humano, cuantificándose en 55.035.045 m<sup>3</sup> (53,63%) y 15.998.384 m<sup>3</sup> (15,59%), respectivamente. También se debe resaltar el trasvase de 23.432.124 m<sup>3</sup> (22,83%) destinado atender la demanda de agua para consumo humano de una parte de la Ciudad de La Paz.

#### Sector riego:

- Se ha logrado identificar 790 unidades de áreas de riego, de los cuales el 51,1% son de categoría micro, 23,3% de categoría pequeña y 19% de categoría mediana.
- El área total bajo riego es de 193.813 has, de las cuales las subcuencas Poopó, Circunlacustre y Medio Desaguadero son las que tienen las mayores áreas de riego, con 130.152, 33.215 y 25.553 hectáreas, respectivamente.
- Se ha estimado que el área agrícola potencial es de 1.196.997 has, de las cuales sólo el 16,19% es utilizado bajo riego.
- Se ha identificado, zonificado y aplicado ocho cédulas de cultivo, de las cuales dos cédulas forrajeras son dominantes en términos de demanda hasta un 83,7% (Cédula 1: Alfalfa, 30%; Cebada, 25%; Avena, 20%; Quinoa, 15%; Papa, 10%; Cédula 2: Alfalfa, 30%; Quinoa, 30%; Papa, 20%; Cañahua, 10%; Cebada, 10%), el resto tiene una demanda menor al 7% cada uno de las cédulas de cultivo.
- Se estima que la demanda total de agua para riego es de 2.059.480.703 m<sup>3</sup>, representa una participación del 92,13% del total de la demanda hídrica multisectorial del sistema TDPS.
- Se puede apreciar las subcuencas con mayor demanda: la primera Poopó con 1.560 millones de m<sup>3</sup> (75,7%), la segunda Medio Desaguadero con 288 millones de m<sup>3</sup> (14%) y la tercera Circunlacustre con 165,79 millones de m<sup>3</sup> (7,9%).
- Se determinó como indicador el requerimiento de agua en m<sup>3</sup>/ha, lo que permitió comparar y regionalizar la demanda de agua, por ejemplo, las subcuencas de Poopó y Coipasa tienen una demanda en torno a 10.000 m<sup>3</sup>/ha, debido a las bajas precipitaciones en la zona; mientras la subcuenca Circunlacustre su demanda oscila en torno de 5.000 m<sup>3</sup>/ha, debido a que existen precipitaciones en torno de los 500 mm anuales.

- Tanto el número de unidades de riego, como el área de riego con categorías micro y pequeño, no tiene mucho significado o impacto en términos de volumen de agua, con relación a la categoría mediana, en consecuencia, la demanda de agua para riego depende no solo del área de riego, sino también de los factores climáticos, cédula de cultivos, eficiencias de riego de la zona de riego.

#### Sector ganadería:

- Se ha determinado la demanda hídrica del sector ganadero en función a los 7.779.732 cabezas de ganado distribuidos en 6 tipos de ganados: bovinos con 748.457 cabezas (10%), ovinos con 3.828.428 cabezas (49%), porcinos con 182.896 cabezas (2%), llamas con 2.202.408 cabezas (28%), alpacas con 745.927 cabezas (10%), equinos con 71.616 cabezas (1%).
- La demanda de agua para la ganadería es de 32,21 millones de m<sup>3</sup>, representa una participación del 1,44% de total de la demanda hídrica multisectorial del sistema TDPS.
- La ganadería bovina está presente de manera significativa en las subcuencas bajo el siguiente orden: Circunlacustre, Poopó, Katari, Medio Desaguadero y Alto desaguadero; la ganadería ovina es dominante en las subcuencas de Poopó, Medio desaguadero, Alto desaguadero, Circunlacustre y Katari, también está presente con razonable fracción en las subcuencas Coipasa, Suches y Mauri; las llamas es dominante en la subcuenca Coipasa, también está presente con una razonable porción en las Subcuencas de Alto Desaguadero Mauri, Poopó y Circunlacustre; las alpacas dominan en la subcuenca de Mauri, también tiene una razonable participación en las subcuencas de Suches, Alto desaguadero y Coipasa.
- El mayor consumidos de agua es el ganado bobino alcanza a 19,12 MMC (59,4%), le sigue el ganado ovino con 5,58 MMC (17,4%), también las llamas con 4,8 MMC (15%), el resto de los ganados, cada una participa con menos del 4%.
- La demanda de agua del ganado bovino es dominante en las subcuencas Poopó, Circunlacustre, Katari, Alto Desaguadero, Medio Desaguadero y Suches; la demanda de agua de las llamas es dominante en la subcuenca Coipasa, en el resto es razonable; la demanda de agua del ganado ovino es razonable en todas las subcuencas, siendo mínimo en las subcuencas de Mauri y Huacho; la demanda de agua de las alpacas es razonable en las subcuencas de Suches, Mauri, Coipasa y Alto Desaguadero; el ganado porcino y equino tiene una demanda de agua mínima en todas las cuencas, debido a que el ganado porcino es más para el autoconsumo que para fines comerciales; en cuanto al ganado equino es complementario para fines de trabajo agropecuario.
- En términos generales, son cuatro tipo de ganados de demandan agua de manera significativa, la ganadería bovina, ovina, llamas y alpacas, debido a que son producido para comerciales, mientras el ganado porcino es destinado principalmente al autoconsumo y el ganado equino es complementario de apoyo al trabajo agropecuario.

- La demanda de agua para la ganadería en total al presente es de 32,2 millones de m<sup>3</sup>. Las subcuencas Circunlacustre y Poopó dominan la actividad ganadera con demanda hídrica de 7,92 millones de m<sup>3</sup> y 7,95 millones de m<sup>3</sup>, respectivamente. Por otra parte, considerando la tasa de crecimiento, la demanda de agua al año 2050 se incrementa en la subcuenca Circunlacustre con 9,51 millones de m<sup>3</sup> y Poopó con 9,85 millones de m<sup>3</sup>, le siguen las cuencas Medio Desaguadero, Alto Desaguadero y Katari. No obstante, este incremento dependerá de la capacidad de carga animal, que su vez está en función a la disponibilidad de forrajes y cantidad de volumen de agua disponible.

#### Sector industria:

- Se ha identificado 294 industrias, distribuidas en 17 subsectores industriales, de las cuales 284 unidades industriales cuentan con datos de consumo de agua. Podemos destacar los productos cerámicos con una participación del 15% (44 unidades), alimentos con un 14% (41 unidades), bebidas con 9% (26 unidades), textiles con 8% (23 unidades), el resto de las industrias subsectoriales tiene una participación de cada una menor e igual al 7%.
- La mayor cantidad de industrias están ubicadas en dos subcuencas: Katari y Poopó, con 284 y 9 industrias, respectivamente, una en la subcuenca Circunlacustre con una industria, totalizando 294 industrias identificadas.
- La demanda de agua para el sector industrial es de 10,42 millones de m<sup>3</sup>, representa una participación del 0,47% de total de la demanda hídrica multisectorial del sistema TDPS.
- La demanda de agua actual (al año 2020), para las subcuencas donde se encuentran concentradas las actividades industriales son: Katari con 9.35 millones de m<sup>3</sup> (90%) y Poopó con 1,07 millones de m<sup>3</sup> (10%).

#### Sector minería:

- En total fueron identificados 145 operaciones mineras, de las cuales, la subcuenca Poopó concentra la mayor cantidad de centros mineros (73), seguido de la subcuenca Suches (32), le siguen Katari con 23 centros mineros y Alto Desaguadero con 11 centros mineros.
- La demanda de agua del sector minero es de 30.659.710,2 m<sup>3</sup>, representa una participación del 2,94% de total de la demanda hídrica multisectorial del sistema TDPS.
- El mayor uso de agua se presenta en las subcuencas Poopó con 17,36 millones de m<sup>3</sup> (57%), en el departamento de Oruro, y Suches con 12,62 millones de m<sup>3</sup> (41%), en el departamento de La Paz, en las demás unidades hidrográficas el uso de agua en minera es pequeño sumando un 0,68 millones de m<sup>3</sup> (2%).

#### Sector turismo:

- La demanda de agua total para el sector turismo es de 0,05 millones de m<sup>3</sup>, representa una participación del 0,005% de total de la demanda hídrica multisectorial del sistema TDPS.

- Los zonas turísticas con mayor demanda de agua son en el siguientes orden: la ciudad de Oruro con 0,029 millones de m<sup>3</sup> (58%), Copacabana con 0,013 millones de m<sup>3</sup> (27%), Tihuanacu con 0,0056 millones de m<sup>3</sup> (11%), el resto de las zonas turísticas (Ciudad de El Alto y Parque Nacional Sajama) alcanza a un 4%.

Sector acuicultura:

- Se ha valorado el uso del agua para acuicultura, considerando que es un uso no consuntivo, por tanto, con fue cuantificado.

Requerimiento para bofedales:

- Se ha identificado 6.830 bofedales, con una superficie total de 47.591 has. Para fines de su mantenimiento se estima un requerimiento total de 106.227.733 m<sup>3</sup>, representando una participación del 9,24% de total de la demanda hídrica multisectorial del sistema TDPS (incluyendo bofedales).
- En términos de área, la subcuenca que tiene mayor cantidad de bofedales es Suches con 13.349 has (28%), le sigue Coipasa con 8.572 has (18%), Circunlacustre con 7,500 has (16%), Mauri con 6.899 has (15%), el resto es menor a 5.000 has cada uno (menor e igual a 10% cada uno).
- En términos de volumen, la subcuenca que tiene mayor demanda de agua es Coipasa (29%), le sigue Suches y Mauri (18% cada uno), Circunlacustre (13%), Poopó (10%), el resto tiene una pequeña demanda (menor o igual a 6% cada uno).
- Según el indicador de demanda en m<sup>3</sup>/ha, los bofedales con mayor demanda de agua para si mantenimiento se encuentran en la subcuenca Coipasa con más de 3.000 m<sup>3</sup>/ha, siendo los más sensibles a efecto del cambio climático, le sigue Mauri con 2.821 m<sup>3</sup>/ha, Medio Desaguadero con 2.602 m<sup>3</sup>/ha, Huacho con 2.212 m<sup>3</sup>/ha, Poopó con 2.073 m<sup>3</sup>/ha, el resto tiene una pequeña demanda, menor a 2.000 m<sup>3</sup>/ha cada uno.

Demanda hídrica total multisectorial:

- La demanda hídrica multisectorial total es de 2.235,45 hm<sup>3</sup>, de las cuales el sector riego participa con 2.059,48 Hm<sup>3</sup> (92,13%) y consumo humano con 102,63 Hm<sup>3</sup> (4,59%), el resto es menor representa menor o igual a 1,44%, cada uno.
- La subcuenca de Poopó tiene la mayor demanda de agua 1.602,44 Hm<sup>3</sup> (71,68%), le sigue la subcuenca Medio Desaguadero con 294,78 Hm<sup>3</sup> (13,19%) y Circunlacustre con 173,6 Hm<sup>3</sup> (7,77%), el resto es menor a 4%, cada una.

## 5.2 Recomendaciones

Estructura de base de datos:

- La estructura de base de datos generado por el equipo de técnicos consultores, cuenta con control de calidad detallado sector por sector, por tanto podrá ser utilizado no solo

para estimar la demanda hídrica multisectorial, sino también para la modelación de balance hídrico del sistema TDPS.

#### Sector agua potable:

- El dato o indicador esencial para la estimación de la demanda hídrica para consumo humano es el número de habitantes, la misma para fines del presente estudio fue calculada al año 2020, con base en los datos del censo del año 2012. En este sentido, al presente se recomienda actualizar estos datos e información, mediante el próximo censo nacional de población y vivienda.
- Es necesario contar con un sistema de información en agua potable, que integre los datos e información poblacional, características de las fuentes de agua e infraestructura de abastecimiento de agua potable, fortalecer la base de datos del Sistema de Información de Agua y Saneamiento Rural (SIASAR).
- Para la recopilación de información primaria, se podrá utilizar los formularios de sistema de abastecimiento de agua aplicados en el presente estudio.

#### Sector riego:

- El dato e indicador clave para estimar la demanda hídrica del sector riego es el área de riego, la misma fue determinada mediante la amalgamación de datos e información secundaria y trabajos de campo, sin embargo, al ser muy extensa la superficie del TDPS, y necesitarse bastante trabajo de campo, las áreas identificadas y demanda determinada es una estimación potencial existente dentro el TDPS. El inventario de sistemas de riego ha contribuido parcialmente en la identificación y corroboración de sistemas de riego; una de sus limitantes es que no cuenta con datos georreferenciados del área de riego, fuente de agua y el sistema de distribución; en este sentido, siendo una base de datos muy importante, se recomienda actualizar el inventario de sistemas de riego, considerando la georreferenciación del área de riego (polígono), fuente de agua o toma (punto) y red de conducción (líneas). Adicionalmente pueden ser utilizados los formularios de sistemas de riego diseñados para el levantamiento de información.
- Los SEDERIS de La Paz y Oruro cuentan con una buena información, de la misma manera se recomienda complementar con la información georreferenciada de la fuente de agua o toma (punto), área de riego (polígono) y sistema de conducción (líneas) en ambiente SIG.
- El Censo Nacional Agropecuario del 2013 también ha contribuido con información vinculada con la cedula de cultivos, entre otros datos complementarios; en ese sentido, se recomienda también la georreferenciación de los datos por comunidad.
- En general, en el marco del sistema nacional de información en riego, es necesario articular esfuerzos y correlacionar los datos e información generada en las tres o más instancias: Inventario Nacional de Sistema de Riego, base de datos del SEDERI, Censo

Nacional Agropecuario, Inventario Nacional de Presas, base de datos en aguas subterráneas, otras bases de datos o estadísticas.

- Adicionalmente, a través de las instancias competentes en materia de desarrollo agropecuario y riego es importante contar y vincular con datos e información del potencial agrícola bajo riego y sus proyecciones, considerando las instancias competentes de generación y actualización de los sistemas de información anteriormente mencionados.

#### Sector ganadería:

- El dato del N° de cabezas de ganado dentro de una población rural es la base para el cálculo de la demanda de agua del sector ganadero, por lo que el Censo Nacional Agropecuario del 2013 ha contribuido con datos e información para su estimación al 2020; en ese sentido, al presente se recomienda actualizar la base de datos mediante el próximo Censo Nacional Agropecuario.
- Sobre la base de datos e información generada por el Censo Nacional Agropecuario es importante fortalecer a través de las entidades competentes la implementación de un sistema de información del sector ganadero, toda vez que es un sector económico que demanda agua, siendo sensible el incremento del número de cabezas de ganado, impulsado por el desarrollo económico productivo.
- Los formularios diseñados para el levantamiento y generación de información podrán ser aplicadas para fortalecer, actualizar y profundizar con la implementación del mencionado sistema de información del sector ganadería.

#### Sector industria:

- La Autoridad en Agua Potable y Saneamiento (AAPS) ha contribuido con datos e información para la estimación de la demanda de agua del sector industrial, en la medida de lo posible con información disponible en un 70%, en ese sentido, al presente a través de las autoridades competentes en recursos hídricos y el sector industrial, se recomienda fortalecer los mecanismos para implementar un sistema de información del sector industrial y recursos hídricos, como un instrumento de gestión de los recursos hídricos.

#### Sector minería:

- La Dirección de medio Ambiente del Ministerio de Minería y metalurgia (MMM) ha contribuido con datos e información para la estimación de la demanda de agua del sector minero, corresponde a los registros que dispone, en ese sentido, al presente a través de las autoridades competentes en recursos hídricos y el sector minero, se recomienda fortalecer los mecanismos para implementar un sistema de información del sector minero y recursos hídricos, como un instrumento de gestión de los recursos hídricos.

#### Sector turismo:

- Los datos e información para la estimación de la demanda de agua para el sector turismo fue obtenido de diferentes fuentes de información, entre datos del INE, estudios de servicio de agua potables, reportes de periódicos, entre otros, en ese sentido, se recomienda a través de las autoridades competentes del sector turismo y recursos hídricos fortalecer e implementar un sistema de información que centralice los flujos turísticos a los centros turísticos.

#### Sector acuicultura:

- En el presente estudio, se ha argumentado técnicamente que en la práctica el uso del agua para el sector acuicultura (que incluye la pesca) es un uso no consuntivo, por tanto, no fue cuantificado. No obstante, dado la importancia de la acuicultura como un sector económico es importante realizar estudios especiales de la acuicultura y sus impactos en los recursos hídricos, considerando su calidad y cantidad; asimismo fortalecer e implementar un sistema de información del sector acuicultura vinculado a los recursos hídricos.

#### Requerimiento para bofedales:

- Desde el punto de vista de las funciones ambientales, los bofedales tienen un valor ecológico y económico porque permiten la sustentabilidad no sólo de la vida silvestre, sino también de la ganadería; en ese sentido, se recomienda fortalecer e implementar un sistema de información en bofedales previendo el monitoreo del mismo, ya que son sensibles a las intervenciones de aprovechamiento hídrico y cambio climático.
- Generar alianzas y articulaciones en cuanto a la implementación de sistema de información en humedales, bofedales y su monitoreo en el marco de la "Estrategia para la Gestión Integral de los Humedales y Sitios RAMSAR en Bolivia (MMAyA, 2017)

#### Demanda hídrica total multisectorial:

- Considerando que los datos e información fueron obtenidas de fuentes diversas, entre información disponible en las entidades sectoriales competentes y trabajo de campo, se recomienda a través de las entidades sectoriales y de los recursos hídricos competentes se logre fortalecer los mecanismos de implementación de un sistema de información multisectorial, dedicado también al monitoreo y actualización.
- El fortalecimiento e implementación del sistema de información multisectorial se deberá enmarcar en las siguientes directrices: a) Art. 15 de la Ley 133 Ley de Medio Ambiente, en la que indica la implementación del Sistema Nacional de Información Ambiental, con funciones de registro, organización, actualización y difusión de la información ambiental nacional; b) Art. 51.- de la Ley 300 - Ley marco de la Madre Tierra y desarrollo integral para vivir bien, la que establece la implementación del Sistema de registro de los componentes de la Madre Tierra y Marco Indicativo de las Capacidades de Regeneración

de los Componentes de la Madre Tierra; c) Art. 27 de la Ley 300 que orienta el desarrollo integral en el ámbito del uso multisectorial del agua.

## 6 REFERENCIAS

AAPS, 2016. Indicadores de Desempeño de las EPSA reguladas. AUTORIDAD DE FISCALIZACIÓN Y CONTROL SOCIAL DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO – AAPS. 2016.

Agencia Boliviana Espacial (ABE), 2020. “Balance hídrico integral de la cuenca del río Suches”. Programa de Gestión Integradas de Recursos Hídricos y Manejo Integral de Cuencas. Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Cooperación Técnica Suiza (HELVETAS).

Alzérreca H. A (1992). Producción y utilización de los Pastizales de la zona andina de Bolivia. Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria. La Paz Bolivia.

Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith, 1998. Crop evapotranspiration, guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56.

Boada, B.; Larrea, M.; Rodríguez, M.; Vargas, A. y Chávez, J.L. 1985. “Nutrición y alimentación animal”. La habana, Cuba. p. 334-335

Centro Profesional Multidisciplinario (CPM), 2012. “Diseños finales: de mejoramiento y ampliación de sistemas abastecimiento de agua potable, alcantarillado sanitario, plantas de tratamiento de aguas residuales y disposición final de los efluentes para las localidades de Copacabana, San pedro y San pablo de Tiquina”. Ministerio de Culturas, Viceministerio de Turismo

Crispín R., 2018. “Complejo ecoturístico termal (Parque Nacional Sajama)”. Proyecto de Grado. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Arquitectura, Artes, Diseño y Urbanismo, Carrera de Arquitectura.

Food and Agriculture Organization - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2009. “Visión general del sector acuícola nacional – Estado Plurinacional de Bolivia”.  
[https://www.fao.org/fishery/countrysector/naso\\_bolivia/es#tcN90016](https://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_bolivia/es#tcN90016).

Food and Agriculture Organization Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2014. “Manual práctico para el cultivo de la trucha arcoíris”.  
<https://www.fao.org/3/bc354s/bc354s.pdf>.

Gioffredo, J.J. & Petryna A. 2010. “Caprinos: generalidades, nutrición, reproducción e instalaciones”. Universidad Nacional De Río Cuarto. Facultad De Agronomía y Veterinaria Departamento de Producción Animal. Río Cuarto – Argentina.

- GIRH TDPS, 2016. "Escenarios climáticos en el sistema hídrico del lago Titicaca, río Desaguadero, lago Poopó y salar de Coipasa". Miniterio del Ambiente – Perú, Ministerio de Medio Ambiente y Agua (Bolivia).
- Gonzales AL, Cortez R., Sullcata P., Murillo A & Acarapi W., 2010. "Enfoque estratégico para la implementación de la cuenca pedagógica del río Katari". Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego.
- Gonzales, A.L., 2016. "Desarrollo metodológico de balances hídricos para cuencas menores como el río grande y microcuencas en el marco de la gestión integral de recursos hídricos y manejo integral de cuencas - Producto 3 y 4: propuesta metodológica de balance hídrico de oferta y demanda microcuencas (niveles 7 y 8) y aplicación en las microcuencas Pojo-Challhuani y Panamá-Uchuchajra". PROAGRO, Ministerio de Medio Ambiente y Agua.
- Gonzales, A. 2021. Estimación de la Demanda Hídrica Multisectorial del Sistema Titicaca – Desaguadero – Poopó – Salar de Coipasa (TDPS). Consultoría: Ingeniero Especialista en Tratamiento para la Información Hidrometeorológica. Ministerio de Medio Ambiente y Agua. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Hargreaves, G. H., and Samani, Z. A. 1982. "Estimating potential evapotranspiration." J. Irrig. Drain. Div., 108(3), 225–230.
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), 2017. "Manual de manejo ovino". Boletín INIA No 3. (Chile)
- Instituto Nacional de Estadística (INE), 2016. "Bolivia – hato ganado bovino por departamento, edad y sexo, 1984-2020". <https://www.ine.gob.bo/index.php/estadisticas-economicas/ganaderia-y-avicultura/ganaderia-cuadros-estadisticos/>
- Instituto Nacional de Estadística (INE), 2012. "Censo Nacional de Población y Vivienda Estado Plurinacional de Bolivia, 2012". [www.ine.gob.bo](http://www.ine.gob.bo).
- Instituto Nacional de Estadística (INE), 2013. "Censo agropecuario Estado Plurinacional de Bolivia, 2013". [www.ine.gob.bo](http://www.ine.gob.bo).
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA - Argentina), 2015. "Manual de cunicultura". Ministerio de Agroindustria – Argentina.
- Latin Consult, 2016. "Plan maestro de agua potable y saneamiento básico de la ciudad de Oruro" Ministerio de Medio Ambiente y Agua – documento no oficial
- Ledezma F. A. P., 2012. Empleo de Sistemas de Información Geográfica, Datos de Sensoramiento Remoto y Fuentes de Acceso Libre Global, como herramienta para modelar agua, energía y

- cambio climático en Bolivia. ACTA NOVA; Vol. 5, N° 4. Septiembre 2012. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1683-07892012000200005](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892012000200005).
- Malthus, T.R., 1978. "Ensayo sobre el principio de la población, como afecta al futuro mejoramiento de la sociedad con comentarios a las especulaciones de Mr. Godwin, M. Condorcet y otros escritores". 1a Ed.
- Mendoza, E.L., 2013. "Influencia de los núcleos alimenticios sobre el comportamiento productivo de vacas pardo suizo en la comunidad Ancocagua". Tesis de Grado. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía.
- MPD y MMAyA 2018. Resolución Biministerial N° 002, 28 de mayo de 2018. Categorización sectorial de proyectos de riego en mayores, medianos y menores. Ministerio de Planificación del Desarrollo y Ministerio de Medio Ambiente y Agua.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua MMAyA, 2011. "Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias". 1ª Ed. Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2017. Estrategia para la Gestión Integral de los Humedales y Sitios RAMSAR en Bolivia, La Paz – Bolivia. 86 pp.
- Monteith, J. L. 1965. "Evaporation and environment". Symposia of the Society for Experimental Biology. 19, pp. 205-234
- Norma Boliviana NB-689, 2004. "Instalaciones de agua – Diseño para sistemas de agua potable". 2da revisión. Ministerio de Servicios y Obras Públicas, Viceministerio de Servicios Básicos.
- Ocola J., Fernández V., Escalante J., Klauer B., Laqui W., Chuquisengo L & Espíritu C., 2020. "La acuicultura y la gestión integrada de los recursos hídricos en la cuenca del lago Titicaca". Universidad Nacional de Juliaca, Ed. San Marcos, 294 pp.
- Ocola, J., Escalante, J. y Ñahuincopa, A. (2021). "Diagnóstico binacional pesquero y acuícola en el ámbito del sistema hídrico lago Titicaca, río Desaguadero, lago Poopó y Salar de Coipasa – TDPS". Autoridad Binacional Autónoma del Lago Titicaca (ALT). Vol. 2.
- Olmos, C., 2016. "Elaboración del balance hídrico integral para el sistema hídrico lago Titicaca, río desaguadero, lago Poopó y salar de Coipasa en el marco de los planes directores de cuenca". Ministerio de Medio Ambiente y Agua.
- Paredes A.W.R. 2021. Estimación de la Demanda Hídrica Multisectorial del Sistema Titicaca – Desaguadero – Poopó – Salar de Coipasa (TDPS). Técnico en Sistema de Información Geográfica. Ministerio de Medio Ambiente y Agua. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

- Penman, H.L., 1948. "Natural evaporation from open water, bare soil and grass". Proc. Roy. Soc. London A(194), S. 120–145
- PROINTEC, 2015. "Proyecto Multipropósito de riego y agua potable para los municipios de Batallas, Pucarani y El Alto". Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Banco Interamericano de Desarrollo.
- Sieber J. & Purkey D., 2015. "WEAP - Water Evaluation And Planning System – User Guide for WEAP 2015". Stockholm Environment Institute, U.S. Center.
- Siles, H., 2020. "Bolivia - La industria en cifras por departamentos 1994 - 2018". Cámara Nacional de Industrias de La Paz.
- Stockholm Environment Institute US Center (SEI), Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología SENAMHI, Instituto de Hidráulica e Hidrología UMSA, Laboratorio de Hidráulica UMSS, Instituto de aguas UMSFX, 2018: "Balance Hídrico Superficial de Bolivia 1980-2016".
- Quiles, A. & Hevia, M. "Necesidades de agua en la especie porcina" Departamento de Producción Animal. Facultad de Veterinaria. Universidad de Murcia. Campus de Espinardo
- San Martín, F. 1994. "Avances y alternativas de alimentación para los camelidos sudamericanos". Investigaciones Pecuarias, vol 7. No 2
- TYPSA-GITEC-LWB-AA, 2014. "Plan maestro de agua potable y saneamiento básico para el área metropolitana de las ciudades de La Paz y El Alto. Ministerio de Medio Ambiente y Agua. Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico
- Vaccaro M., Dillón E. & Fernández A., 2014. "El agua en la producción equina". sns N.º 5-6. SENASA. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Argentina.
- Veizaga, A., 2015. "Demanda actual, histórica y futura para escenarios de cambio climático de los sistemas de riego del río Desaguadero". Aguas Sustentables
- Yates D., Sieber J., Purkey D. & Huber-Lee A., 2005a. "WEAP21 - A Demand-, Priority-, and Preference-Driven Water Planning Model - Part 1: Model Characteristics", Water International, Volume 30, Number 4, Pages 487–500.
- Yates D., Purkey D., Sieber J., Huber-Lee A. & Galbraith H., 2005b. "WEAP21 - A Demand-, Priority-, and Preference-Driven Water Planning Model - Part 2: Aiding Freshwater Ecosystem Service Evaluation", Water International, Volume 30, Number 4, Pages 501–512.

Yujra R.V., 2019. “La administración de recursos humanos y económicos en el CIAAAT, como herramienta para el desarrollo de la actividad turística en el municipio de Tiahuanacu” Tesis de grado para obtener el título de licenciatura. Universidad Mayor de San Andrés.