



UNIVERSIDAD TECNICA DE ORURO
DIRECCION DE POST GRADO E INVESTIGACION CIENTIFICA

PROYECTO "CLASIFICACION DE CUERPOS DE AGUA SUBTERRANEA DEPARTAMENTO ORURO"

Investigador Principal:

M. Cs. Ing. Jorge Gutiérrez Venegas

ORURO - 2009

RESUMEN

El Presente proyecto fue realizado a través de la Universidad Técnica de Oruro, con financiamiento de los recursos del Impuesto Directo a los Hidrocarburos IDH, bajo el título de **“Clasificación de Cuerpos de Agua Subterránea Departamento de Oruro”**. Pasando por las diferentes etapas se llevo adelante el trabajo de investigación, inicialmente con la recopilación de información, la planificación y posterior trabajo de campo con la recolección de muestras de aguas subterráneas en diferentes puntos del departamento de Oruro, en la etapa de análisis y procesamiento de la información que se obtuvo de laboratorio y campo, se procedió a añadir información histórica de la Gobernación de Oruro, proyecto Jica; con todos los datos se aplicó diferentes herramientas para el procesamiento de la información conjunta, como son la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica, donde se obtuvieron mapas temáticos que muestran características de diferentes cuerpos de agua subterráneo; por otro lado utilizando variables con la calidad, profundidad y caudal, se logro clasificar cuerpos de agua denominados como cuerpos de aguas óptimas, regularmente óptimas y poco óptimas, en función de las tres variables.

De esta manera a través del estudio se tiene una mejor concepción de los diferentes cuerpos de agua subterránea que existen en el departamento de Oruro, que seguramente servirá para enfrentar la crisis que se aproxima por la demanda del líquido elemento, porque se tendrá una orientación para el requerimiento del agua que cada vez se hace mas crítica.

1.- INTRODUCCION

El Departamento de Oruro con sus 53588 Km² de extensión territorial, y una población, según el último censo de 1997 de 250.000 habitantes, de los cuales 180.000 viven en área urbana y 170.000 en área rural (I.N.E. 1997), requiere planificar su desarrollo aprovechando los recursos naturales renovables y no renovables que posee este vasto territorio.

La necesidad de realizar proyectos de estudios de aguas superficiales se hace latente ante la escasez cada vez mayor del agua, por lo que desde tiempos milenarios se recurre a este líquido elemento que se encuentra en el subsuelo

1.1. LOCALIZACIÓN

El departamento de Oruro tiene una superficie de 53.588 Km², subdividida política y administrativamente en 16 provincias (Fig. 1). Limita al Norte con el Departamento de La Paz; al Sur y al Este con el de Potosí; al Nor-Este con el de Cochabamba y al Oeste con la Republica de Chile.

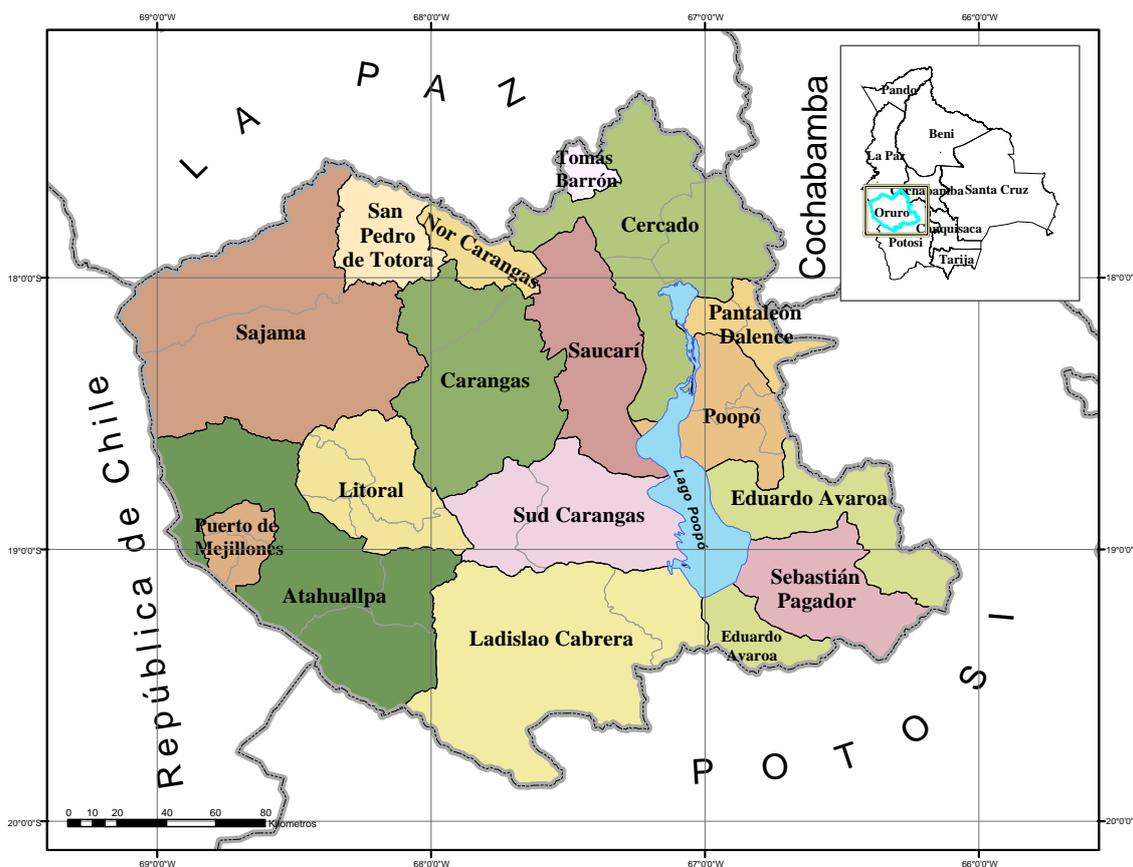


Fig. 1 División Política del Departamento de Oruro

Aunque su relieve predominante es relativamente plano, por estar inmerso en la zona central del Altiplano Boliviano, una buena parte de su territorio es montañoso. Según la clasificación de las zonas de vida de Holdridge (1977), el departamento de Oruro es parte de los pisos altitudinales: Nival (altitud mayor a 4,500 msnm); Subalpino (altitud entre 1,901 a 4,500 msnm) y Montano (altitud entre 2,901 a 3,900 msnm). Por el Este abarca parte del ramal oriental de la Cordillera de Los Andes, en el sector de Tres Cruces (desarrollada en su mayor parte en el Departamento de La Paz), de Azanaques, de Livichuco y de los Frailes; las tres últimas, se prolongan hasta el Departamento de Potosí.

Por el Oeste se observa la presencia de contrafuertes del ramal occidental de la Cordillera de Los Andes, con las Cordilleras de Pacajes y Carangas, de Llica, Tahua o Intersalar y parte de la Cordillera de Silillica, donde se levanta majestuoso, el volcán Sajama (6.542 msnm) máxima elevación de Bolivia.

Teniendo en cuenta los grandes factores morfológicos, climatológicos de flora y fauna y la variedad de suelos, el Departamento de Oruro, fisiográficamente, se halla dividido en tres zonas o provincias (Fig. 2)

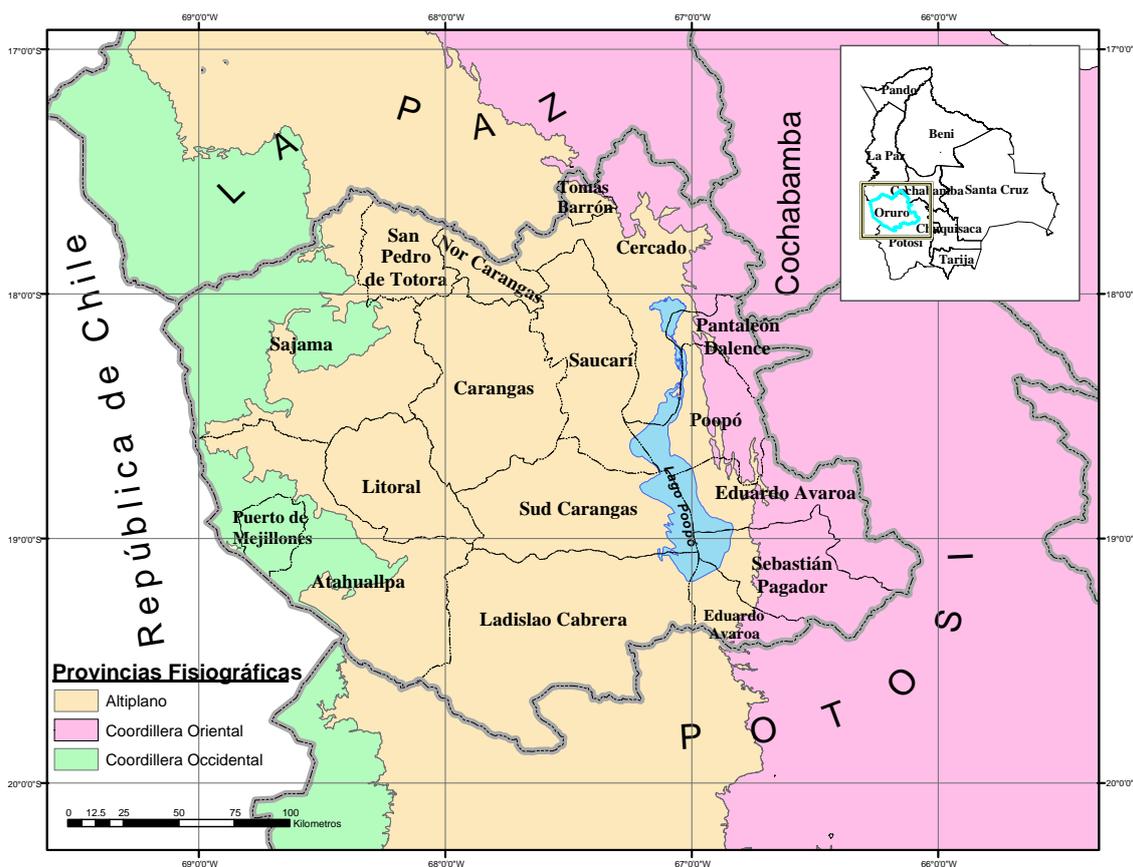


Fig. 2 Provincias Fisiográficas del Departamento de Oruro

El área que comprende la región de Oruro forma parte de las unidades morfoestructurales de la Cordillera Occidental ó Andes Occidentales (sector extremo occidental del Departamento), Altiplano (zona central) y estribaciones occidentales de la Cordillera Oriental (sector oriental).

Los paisajes geomórficos de la zona de los Andes Occidentales están caracterizados por la presencia de estructuras volcánicas, destacándose el Sajama con una altura de 6542 msnm, Pomerape (6222m), Parinocota (6132 m), Carabaya (5854 m), Tata Sabaya (5385 m), Tunupa (4919 m), Coracora (4729 m). En el extremo sur del área se encuentran las elevaciones de Canviri con 5000 msnm, Sunikahua con 5018 msnm, etc. Parte de la zona es una meseta de origen volcánico con una altura promedio de 4000 msnm, constituida por las ignimbritas de la Formación Pérez.

Hacia el oriente de esta unidad geomórfica y con una altura media de 3900 msnm se encuentra el altiplano, con el desarrollo de extensas planicies de origen fluvio lacustre, interceptadas por varias serranías, como las de la sección norte (Montes de Oca 1997) con elevaciones que presenta el Juna Juna (4364 m), Huaca Plaza con 4326 msnm y otras. También en esta altiplanicie existen estructuras aisladas como la de la Joya.

El extremo oriental del área de la cordillera Oriental en la que sobre salen las denominadas cordilleras de Azanaques y de los Frailes, como también las mesetas de Morococala y Livichuco;

las elevaciones mas importantes son la de Azanaques con 5102 m, Toro (5179 m) y otras. Las serranías están dispuestas entre si con una orientación NW-SE.

La Cordillera Occidental, que ocupa el 16.58% del territorio del departamento de Oruro (8,513.45 Km²), presenta paisajes típicos de volcanes apagados donde muchos de ellos aún mantienen su forma cónica perfecta, como el Sajama, el Pomerape, juntos reciben el nombre de Payachatas, además del Acotango, Tunupa, Candelaria y otros. Los paisajes de las coladas de lavas y esqueletos volcánicos con formas complejas y de menos altura que el paisaje volcánico. Además presenta la parte Sud de la gran planicie de lavas ignimbríticas.

El Altiplano Boliviano es la Provincia Fisiográfica que se halla situada en medio de las cordilleras Oriental y Occidental y representa la mayor cobertura en área (58.82 %) en sus 30,205.06 Km², presenta paisajes como las Serranías Interaltiplánicas, siendo la más representativa la Serranía de Huayllamarca, que comienza al sur del Lago Titicaca, en el Puerto de Guaqui, continúa hacia el Sur hasta las inmediaciones de la parte Norte del Lago Poopó; esta Serranía corresponde al departamento de Oruro en su sección Sur. Los paisajes formados por factores eólicos como las dunas y arenales, van adquiriendo características cada vez más interesantes principalmente en las zonas Nor Este, Centro y Sud Oeste del Lago Poopó. El Salar de Coipasa constituye otro paisaje, que además de un inmenso depósito de minerales especialmente los no metálicos, contiene litio, potasio, boratos y otros minerales raros. Finalmente se tiene el paisaje de los lagos Poopó y Uru Uru, que se hallan situados al centro del Departamento de Oruro. El Lago Poopó tiene una altura de 3.686 m y una profundidad de algo mas de 2.5 m, nivel que tiene fluctuaciones constantes. Presenta una isla situada al extremo Oeste del lago y en una zona de baja profundidad y que de acuerdo a la época de crecidas o estiaje, ésta se convierte en una península debido al desborde del Río Desaguadero presentando una forma triangular.

La tercera provincia fisiográfica del departamento de Oruro es la Cordillera Oriental, con una extensión de 7,954.47 Km² correspondiendo al 15.49 % del área departamental. Se halla dividida en dos grandes sectores, la Cordillera Real y la Central o Meridional. La Cordillera Real se halla dividida en los siguientes sectores, Apolobamba, Muñecas, de La Paz, Tres Cruces y de Cochabamba; pertenece al Departamento de Oruro sólo en el sector correspondiente a Tres Cruces, conocido también con el nombre aymará de Quimsa Cruz. Las serranías más importantes son el Jachancuncollo 5.900 m, Gigante Grande 5.807 m, Atoroma 5.700 m, Viscachani 5.018 m y otros. La Cordillera Central o Meridional comienza al Sur del paralelo 18° y se divide en tres secciones, la Cordillera de Azanaques, la Central o Cordillera de los Frailes, y la Meridional que comprende las cordilleras de Chichas y Lipez. En la sección central de la vertiente occidental, presenta paisajes de serranías altas con cimas agudas y/o ligeramente convexas y vertientes moderadas a fuertemente empinadas que se hallan formando valles angostos con microclimas aptos para la agricultura.

1.2. CLIMA

La región de estudio presenta un clima que varía de templado y seco en el altiplano a frío en la cordillera Occidental, con dos estaciones bien marcadas, una lluviosa en verano (diciembre - abril) y otra seca el resto del año.

La precipitación en el Altiplano es de alrededor de 350 mm, la temperatura máxima 25°C y la mínima de -20°C. El viento de sentido preferencial NE-SW, puede alcanzar velocidades del orden de 60Km/h, particularmente en invierno, lo que dificulta el desarrollo de la flora y fauna.

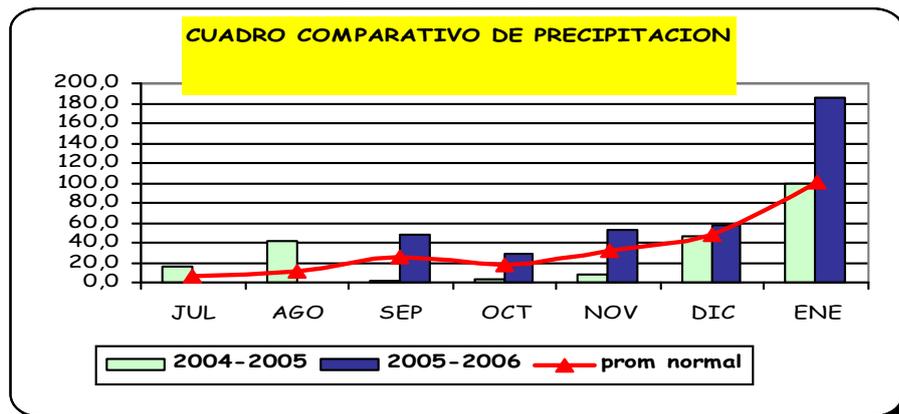
La información del clima del departamento de Oruro se basa en información obtenida del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de la Estación Meteorológica de la Ciudad de Oruro¹. Los datos históricos anuales de las variables meteorológicas registradas en esta estación son:

Datos Anuales de la Estación Meteorológica Oruro

Variable [Unidad]	Año										
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003 (p)	2004 (p)
Temperatura Media Ambiente [°C]	8.63	8.73	8.48	8.39	9.63	8.98	8.8	8.94	9.76	9.33	9.63
Temperatura Máxima Media Ambiente [°C]	s/i	s/i	s/i	s/i	s/i	s/i	18.59	17.68	18.78	19.18	19.13
Temperatura Mínima Media Ambiente [°C]	s/i	s/i	s/i	s/i	s/i	s/i	-0.99	0.2	0.72	-0.57	0.07
Humedad Relativa Promedio [%]	48.5	46.83	50.5	52.33	48.17	52.92	48.67	53.17	47.5	42.58	43
Precipitación Pluvial Acumulada [mm]	304.6	346.9	382.9	489.5	315	488.5	380.9	528.4	399.7	283.8	228.7
Días con Helada [en días]	176	182	169	178	156	158	180	158	141	180	154

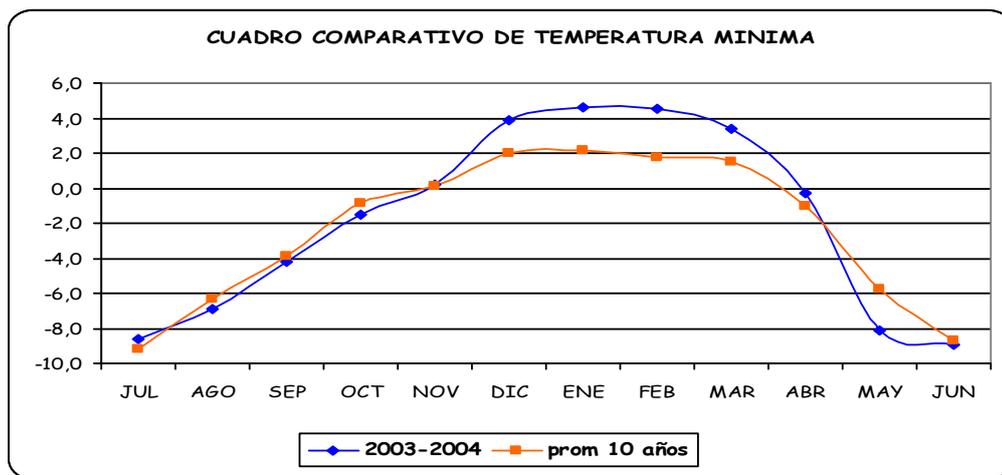
Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
(p): Dato preliminar; s/i: Sin información

Precipitaciones y Temperaturas



Fuente: SIDESAT-SEDAG. PREFECTURA DE ORURO

¹ Para la caracterización de las condiciones climáticas del departamento de Oruro, es posible aceptar el uso de una sola estación meteorológica representativa del conjunto, admitiendo, no obstante, la existencia de un error que puede ser considerado como dentro del margen de lo aceptable para este estudio particular.



Fuente: SIDESAT-SEDAG. PREFECTURA DE ORURO

El clima en el departamento de Oruro puede ser considerado como frío y seco; existiendo variaciones espaciales del mismo de Este a Oeste, variando de 12° C y 400 mm a menos de 6° C y 200 mm en temperatura y precipitación pluvial, respectivamente, como promedios anuales. Durante el periodo invernal, las bajas temperaturas son llevaderas gracias a su extrema sequedad.

La dureza del clima junto con la elevada altitud actúan como catalizadores para contrarrestar la exposición a la contaminación del agua del suelo y a la contaminación biológica (o de la pobreza); de tal manera que estos factores no ocasionan verdaderos estragos entre la población que tiene, de por sí, un bajo nivel de defensa – principalmente por el nivel de desnutrición².

1.3 GEOLOGIA

El Departamento de Oruro, como parte del Altiplano Boliviano, geológicamente puede ser caracterizado por una serie de cuencas intermontañas que recibieron sedimentos de fajas de plegamiento y corrimiento convergentes. La Cordillera Occidental contiene muchos volcanes grandes de la época del Oligoceno posterior – Mioceno inferior a épocas recientes. La Cordillera Oriental está formada por sedimentos marinos siliclástico del Ordoviciano a Devoniano con sedimentos de plataforma continental endoplegados del Paleozoico Superior y sedimentos continentales del Cretáceo al Terciario.

En las partes centrales y sur de la Cordillera Oriental existen cuerpos y domos de grandes planicies ignimbríticas del Mioceno Superior. Sierras de montañas más pequeñas y cerros aislados también pueden ser halladas sedimentos Cretácicos/Terciarios y volcánicos, con raras ocurrencias de rocas Paleozoicas.

Durante el periodo Cuaternario, cinco episodios de glaciación ocurrieron en el Altiplano. El último episodio, Choqueyapu II, desde unos 18,000 a 12,000 B.P., coincidió con la última glaciación máxima global.

Dentro de las tres provincias fisiográficas del departamento de Oruro, se identifica que el mayor porcentaje de territorio, ocupan las llanuras del altiplano, abarcando una extensión correspondiente al 45.5% del territorio (23,366.87 Km²). El segundo gran paisaje del departamento son las serranías de la Cordillera Oriental con una extensión de 6,3002.99 Km²,

² Mendizábal Marthadina. Oruro: del desastre a la esperanza ambiental. ILDIS. La Paz, Diciembre 1993. Pag. 81.

correspondiendo al 12.27% del territorio. Las montañas de la Cordillera Occidental con 4,184.24 Km² (8.15% del territorio), ocupa el tercer lugar, por la extensión territorial que abarcan.

Cada una de las antes mencionadas provincias fisiográficas no son homogéneas, presentando variaciones paisajísticas denominadas grandes paisajes los cuales son presentados en la siguiente tabla:

Grandes Paisajes del Departamento de Oruro

Provincia Fisiográfica	Grandes Paisajes	Área [Km ²]	Porten-taje ³
Altiplano	Llanuras	23,366.87	45.50
	Colinas	2,570.72	5.01
	Serranías	2,265.45	4.41
	Planicies	1,109.33	2.16
	Piedemontes	596.15	1.16
	Montañas	296.53	0.58
Cordillera Occidental	Montañas	4,184.24	8.15
	Piedemontes	1,591.87	3.10
	Colinas	1,357.77	2.64
	Planicies	733.29	1.43
	Llanuras	646.27	1.26
Cordillera Oriental	Serranías	6,302.99	12.27
	Planicies	525.48	1.02
	Colinas	397.58	0.77
	Montañas	329.47	0.64
	Piedemontes	243.75	0.47
	Llanuras	155.21	0.30
Cuerpo de Agua	Cuerpo de agua	1,708.98	3.33
Nevados	Nevados	6.25	0.01
Salar		2,963.79	5.77

Fuente: Unidad de Ordenamiento Territorial del entonces Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación presentada en el Mapa Fisiográfico de Bolivia (Noviembre de 2002).

1.4. VEGETACION

El entonces Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación a través del Viceministerio de Planificación y Ordenamiento Territorial y de la Dirección General de Ordenamiento Territorial elaboró el mapa fisiográfico de Bolivia a escala 1:1,000,000.

Dentro de la información cartográfica y tabular incluida en dicho mapa se encuentra la caracterización de la vegetación, que describe las características de los tipos de vegetación utilizando el método de clasificación internacional y cartográfica de la vegetación de la UNESCO de 1973.

Un poco más del 73% del territorio del departamento de Oruro esta compuesta de vegetación del tipo matorral enano siempre verde (39.73 %), herbácea graminoide baja estacional (14.57 %),

³ Porcentaje del área del Departamento de Oruro.

matorral siempre verde (9.89 %) y matorral decíduo (9.22 %) con una extensión territorial de 20399.75, 7481.98, 5077.02 y 4733.69 kilómetros² respectivamente.

Tipos de Vegetación del Departamento de Oruro

Código	Descripción	Área [Km ²]	Porcentaje ⁴
IVA	Matorral enano siempre verde	20,399.75	39.73
VC	Herbácea graminoide baja estacional	7,481.98	14.57
IIIA	Matorral siempre verde	5,077.02	9.89
IIIB	Matorral decíduo	4,733.69	9.22
	Lago/Sup. Inundación	3,131.48	6.10
	Salar	2,963.50	5.77
VE	Herbácea graminoide intermedia, hidromórfica de agua dulce	1,954.96	3.81
IVB	Matorral enano decíduo	1,245.81	2.43
VB	Herbácea graminoide intermedia	1,104.03	2.15
IIIA,VF	Matorral siempre verde y herbácea graminoide baja	931.19	1.81
IIIC	Matorral ralo xeromórfico	706.00	1.37
VC,IIIB	Herbácea graminoide baja estacional y matorral decíduo	586.94	1.14
IIIB,VF	Matorral decíduo y herbácea graminoide baja	227.13	0.44
	Cuerpo de Agua	98.84	0.19
IIIA,IVA	Matorral siempre verde y matorral enano siempre verde	48.57	0.09
IIIB,IIIA	Matorral decíduo y matorral siempre verde	18.39	0.04
VC,VF	Herbácea graminoide baja estacional y herbácea graminoide baja	8.46	0.02
VF,VE	Herbácea graminoide baja y herbácea graminoide intermedia, hidromórfica de agua dulce	0.69	0.00
IVA,VC	Matorral enano siempre verde y herbácea graminoide baja estacional	0.56	0.00
	Otros	628.64	1.22

Fuente: Unidad de Ordenamiento Territorial del entonces Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación presentada en el Mapa Fisiográfico de Bolivia (Noviembre de 2002).

1.5. CUENCAS Y SUBCUENCAS

El Departamento de Oruro en su gran mayoría se encuentra ubicado dentro de los límites definidos de la cuenca Cerrada (Fig. 3), Lacustre o Endorreica, dividiéndose dentro de su territorio en tres subcuencas bajo el siguiente detalle:

Subcuencas del Departamento de Oruro

Subcuenca	Área [Km ²]	Porcentaje del Territorio Dept. ⁴
Coipasa	21,346.48	41.52
Poopó	16,636.21	32.36
Desaguadero	8,608.26	16.74
Uyuni	2,342.71	4.56

Fuente: Mapa Hidrográfico de la Cuenca Cerrada elaborado por el Servicio Nacional de Hidrografía Naval

⁴ Porcentaje del área del departamento de Oruro

Las subcuencas de Coipasa, Poopó y Desaguadero son usadas como marco geográfico para el presente estudio, debido a que se constituyen cada una de ellas en ecosistemas aptos para análisis, además que cubren aproximadamente un 90 por ciento del territorio del departamento de Oruro.

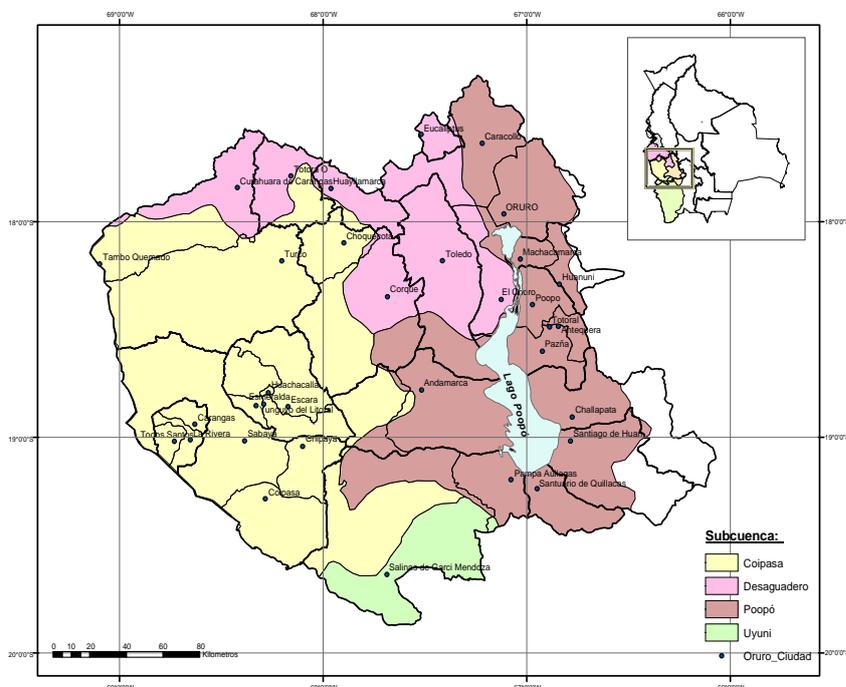


Fig. 3 Subcuencas y Microcuencas Del Departamento de Oruro⁵

La subcuenca de Uyuni no es incluida en el presente estudio por su poca extensión territorial, en el departamento de Oruro y debido a que la red hidrográfica de esta subcuenca drena sus aguas al departamento de Potosí.

En la región de Oruro, la cuenca más importante es la que corresponde a la Central o Lacustre denominada también endorreica del Altiplano, los lagos Poopó y Coipasa Forman parte de la cuenca así como los ríos Desaguadero, Márquez, Turco, Lauca, Corque, etc. El río Desaguadero es el colector principal, que drena la zona hasta desembocar en el lago Poopó, en la parte media de su recorrido presenta una inflexión con rumbo W-E, para luego continuar al Sur, cortando perpendicularmente a las serranías del sector.

⁵ Basada en el mapa Político del Departamento de Oruro del IGM y en el mapa Hidrográfico de la Cuenca Cerrada elaborado por el Servicio Nacional de Hidrografía Naval.

2. INFRAESTRUCTURA

2.1. VIVIENDA⁶

a) Tipo de Vivienda

El 5 de septiembre de 2001, se registró en el departamento de Oruro 127,184 viviendas particulares⁶ y 531 viviendas colectivas⁷. Entre 1976 y 1992, las viviendas particulares se

incrementaron en 26,690 y las viviendas colectivas en 383. Entre 1992 y 2001, el incremento de viviendas particulares alcanza solo a 7,158 en tanto que las viviendas colectivas sufrieron una disminución considerable a 37.

Los municipios con mayor cantidad de viviendas son Oruro (57300) y Challapata (8137), el resto de los municipios presentan menos de siete mil viviendas. Los Municipios de Belén de Andamarca con 717.70, Escara con 616.01 y Santiago de Andamarca con 592.91 representan el mayor número de viviendas particulares por cada mil habitantes, en tanto que el municipio de Oruro tiene un menor número de viviendas por cada mil habitantes 269.84.

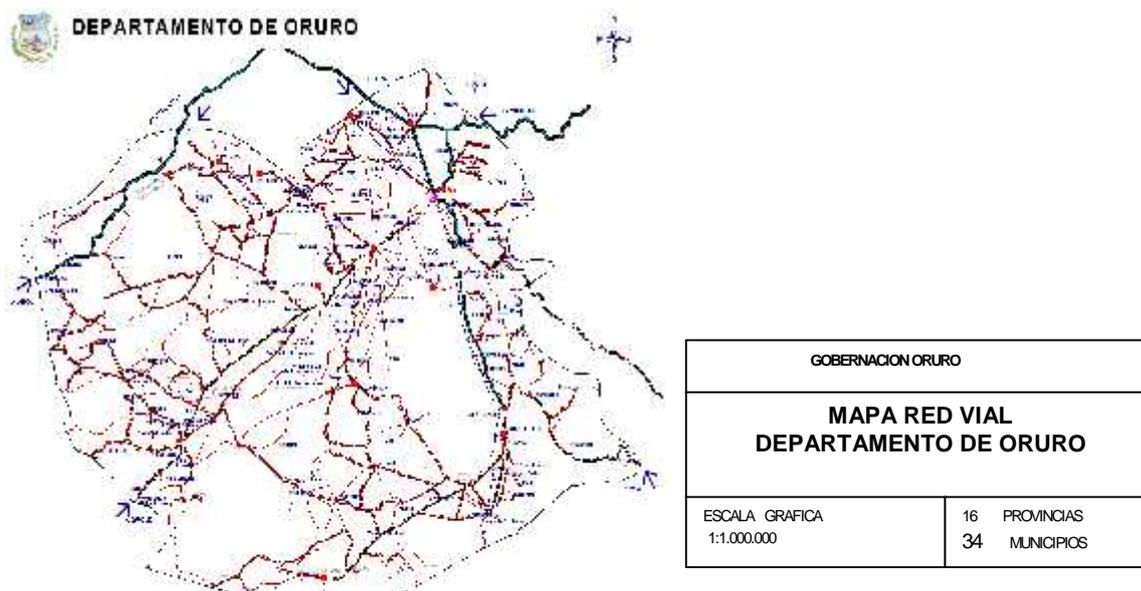
b) Transporte y telecomunicación

i) Red vial

La red vial del Departamento esta administrada y supervisada por el Servicio Departamental de Caminos (SEDCAM), el cual apoya en la apertura y/o mejoramiento de algunas vías de acceso rural (Fig. 4): El acceso al área de estudio se realiza por medio de caminos principales, vecinales y roderas.

Las vías troncales son las únicas que cuentan con mantenimiento permanente, por tanto, son transitables durante todo el año.

Los caminos que constituyen la red fundamental asfaltadas de dos carriles son: La Paz-Oruro-Challapata y Patacamaya-Tambo Quemado; Oruro-Toledo y Ancarabi-Huachacalla de reciente culminación; las ripiadas de dos carriles: Challapata-Huari-Sebaruyo; Huachacalla-Sabaya-Pisiga, las demás son de tierra y vecinales.



⁶ Vivienda particular es una construcción que tiene uno o más pisos (habitaciones) cubiertos por un techo que fue construida o adaptada para ser habitada por uno o más hogares.

⁷ Vivienda colectiva es aquella que alberga un grupo de personas que comparten la vivienda en un régimen no familiar, por ejemplo conventos, cárceles, cuarteles, hospitales, etc.

Fig 4 Mapa: Red Vial del Departamento de Oruro

ii) Transporte Ferroviario

La red andina, constituye una de las rutas mas importantes de ferrocarril y es la que vincula la ciudad de Oruro con la localidad de Viacha (Depto de La Paz) y también con otras ciudades importantes del occidente del país.

iii) Transporte Aéreo

En la ciudad de Oruro se cuenta con un pequeño aeropuerto de pista corta de tierra, asimismo en la región se encuentran pistas de aterrizaje de tierra ubicadas en la localidad de La Joya, Corque, Totorá, Payrumani, etc., las cuales son utilizadas eventualmente y en casos de emergencia por aeronaves pequeñas.

3. SERVICIOS BASICOS⁸

En el departamento de Oruro, entre 1976 y 1992, el porcentaje de hogares que tienen agua por cañería de red aumento de 47.06% a 63.09%; en 2001, este porcentaje alcanza a 57.53%. En el área urbana, más del 85% de los hogares cuentan con agua por cañería de red, en tanto que en área rural este servicio llega a 21.25%.

El porcentaje de hogares que dispone de energía eléctrica alcanza a 40.81% en 1976, en 1992 a 59.61% y en 2001 a 60.68%. En área urbana, nueve de cada diez hogares tiene energía eléctrica y en el área rural, solo dos de cada diez cuenta con este servicio.

El porcentaje de hogares con servicios sanitarios aumento de 13.10% en 1976 a 22.09% en 1992 y en 2001, este porcentaje alcanza a 37.91%. En área urbana este servicio llega a 58.64% de hogares y en área rural a 11.18%.

En los municipios de Oruro, Huachacalla y Escara más de 60% de hogares cuenta con agua por cañería de red, en tanto que en Yunguyo de Litoral la totalidad de los hogares no tiene este

servicio. Por su parte, los municipios de Oruro, Huanuni, Eucaliptos y Machacamarca más de 65% de viviendas particulares tiene energía eléctrica, en tanto que en el municipio de Coipasa los hogares no cuentan con este servicio. En el municipio de Oruro, 61.67% de los hogares dispone de servicio sanitario, en tanto que los municipios de El Choro, Corque, Cruz de Machacamarca, Yunguyo de Litoral, Coipasa, La Rivera y Todos Santos menos del 5% de los hogares cuenta con este servicio.

4. ASPECTOS SOCIO - ECONÓMICOS

4.1 Aspectos Sociales

4.1.1 Población⁸

De acuerdo al Censo Nacional de Población y Vivienda del año 2001, realizado el 5 de septiembre de 2001, el departamento de Oruro tenía una población total de 391.870 habitantes, llegando a ser el sexto departamento más poblado del Bolivia, después de Chuquisaca y antes que Tarija, representando una población de 4.74 por ciento de la población boliviana.

Población Total del Departamento de Oruro, según Censo 2001

Provincia y	Total	Sexo	Área	Tasa
-------------	-------	------	------	------

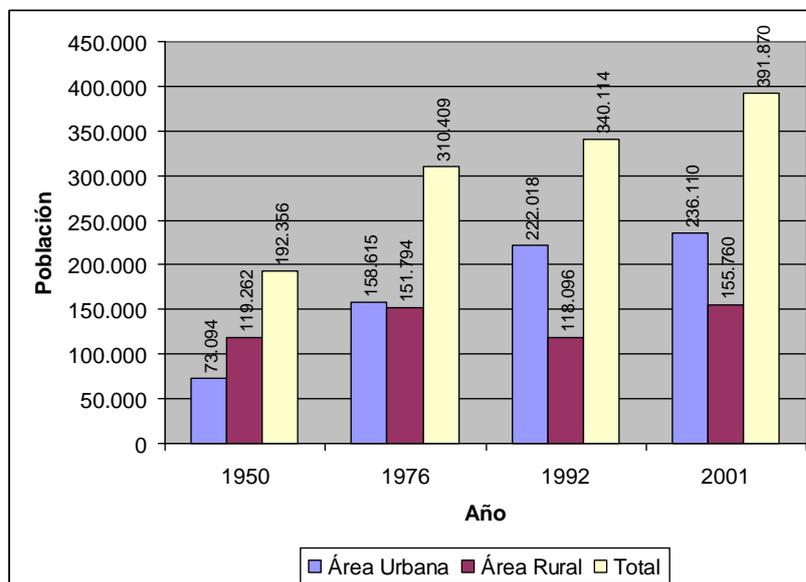
⁸ Basado en: (i) Instituto Nacional de Estadística. **Oruro: Resultados Departamentales**. Censo Nacional de Población y Vivienda 2001. La Paz, Julio de 2002; y (ii) Instituto Nacional de Estadística. **Estadísticas del Departamento de Oruro – 2005**. La Paz, Febrero de 2005

Sección de Provincia - Municipio		Hombres	Mujeres	Urbana	Rural	Crecimiento ⁹ (%)
Departamento Oruro	391,870	195,049	196,821	236,110	155,760	1.53
Cercado	241,230	117,417	123,813	205,642	35,588	
Sección Capital - Oruro	215,660	104,842	110,818	201,230	14,430	1.03
Primera Sección - Caracollo	19,860	9,861	9,999	4,412	15,448	3.14
Segunda Sección - El Choro	5,710	2,714	2,996		5,710	7.39
Eduardo Avaroa	27,675	14,260	13,415	7,683	19,992	
Primera Sección - Challapata	24,370	12,525	11,845	7,683	16,687	1.67
Segunda Sección - Santiago de Quillacas	3,305	1,735	1,570		3,305	4.08
Carangas	10,505	5,525	4,980		10,505	
Primera Sección - Corque	8,548	4,526	4,022		8,548	3.50
Segunda Sección - Choque Cota	1,957	999	958		1,957	1.23
Sajama	9,096	4,767	4,329		9,096	
Primera Sección - Curahuara de Carangas	5,278	2,814	2,464		5,278	2.75
Segunda Sección - Turco	3,818	1,953	1,865		3,818	0.05
Litoral de Atacama	4,555	2,487	2,068		4,555	
Primera Sección - Huachacalla	1,650	983	667		1,650	5.60
Segunda Sección - Escara	863	436	427		863	7.13
Tercera Sección - Cruz de Machacamarca	869	449	420		869	16.43
Cuarta Sección - Yunguyo de Litoral	221	123	98		221	9.47
Quinta Sección - Esmeralda	952	496	456		952	10.04
Poopó	14,984	7,435	7,549		14,984	
Primera Sección - Poopó	6,163	3,045	3,118		6,163	0.50
Segunda Sección - Pazña	5,469	2,671	2,798		5,469	-4.20
Tercera Sección - Antequera	3,352	1,719	1,633		3,352	-0.41
Pantaleón Dalence	23,608	12,043	11,565	17,312	6,296	
Primera Sección - Huanuni	19,428	9,980	9,448	15,106	4,322	-0.14
Segunda Sección - Machacamarca	4,180	2,063	2,117	2,206	1,974	-2.40
Ladislao Cabrera	11,698	5,974	5,724		11,698	
Primera Sección - Salinas de Garcí Mendoza	8,723	4,431	4,292		8,723	4.48
Segunda Sección - Pampa Aullagas	2,975	1,543	1,432		2,975	6.69
Sabaya	7,114	3,715	3,399		7,114	
Primera Sección - Sabaya	4,684	2,465	2,219		4,684	8.80
Segunda Sección - Coipasa	616	307	309		616	4.50
Tercera Sección - Chipaya	1,814	943	871		1,814	5.53
Saucarí	7,763	3,854	3,909		7,763	
Primera Sección - Toledo	7,763	3,854	3,909		7,763	3.59

⁹ Tasa Anual de Crecimiento Intercensal 1992 - 2001.

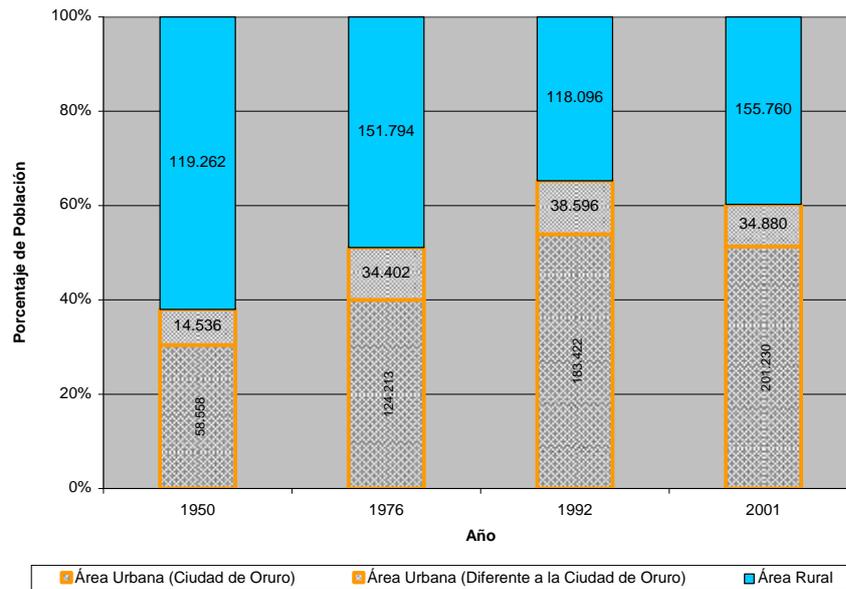
Provincia y Sección de Provincia - Municipio	Total	Sexo		Área		Tasa Crecimiento ⁹ (%)
		Hombres	Mujeres	Urbana	Rural	
Tomas Barrón	5,424	2,701	2,723	2,474	2,950	
Primera Sección - Eucaliptus	5,424	2,701	2,723	2,474	2,950	0.78
Sud Carangas	6,136	3,117	3,019		6,136	
Primera Sección - Santiago de Andamarca	4,588	2,301	2,287		4,588	4.57
Segunda Sección - Belén de Andamarca	1,548	816	732		1,548	4.48
San Pedro de Totora	4,941	2,556	2,385		4,941	
Primera Sección - Totora	4,941	2,556	2,385		4,941	2.18
Sebastián Pagador	10,221	5,558	4,663	2,999	7,222	
Primera Sección - Santiago de Huari	10,221	5,558	4,663	2,999	7,222	3.04
Puerto de Mejillones	1,130	588	542		1,130	
Primera Sección - La Rivera	390	209	181		390	6.14
Segunda Sección - Todos Santos	387	202	185		387	0.60
Tercera Sección - Carangas	353	177	176		353	8.28
Nor Carangas	5,790	3,052	2,738		5,790	
Primera Sección - Huayllamarca	5,790	3,052	2,738		5,790	1.80

Fuente: Censo Nacional de Población y Vivienda 2001, Instituto Nacional de Estadística



Variación de la Población del Departamento de Oruro¹⁰

¹⁰ Elaboración propia basada en datos del Instituto Nacional de Estadística.

Relación entre Población Urbana y Rural por Censo¹¹

4.1.2 Pobreza¹²

Los datos del Censo 2001 muestran que el departamento de Oruro ocupa el quinto lugar en Bolivia después de La Paz y antes que Chuquisaca con un 67.8% de población considerada como pobre¹³, cifra que equivale a 258,767 habitantes quienes carecen de servicios básicos, residen en viviendas que no reúnen las condiciones apropiadas, tienen bajos niveles de educación y/o presentan inadecuada atención de salud. Con excepción de las provincias Cercado, Pantaleón Dalence y Poopó, las demás presentan niveles de pobreza superiores a 85%. En la provincia San Pedro de Totora se observa el mayor índice de pobreza con 99.4%.

Datos de Pobreza en el Departamento de Oruro

Provincia y Sección de Provincia – Municipio	Población			Porcentaje de Pobres		
	Total Censo 2001 (1)	En Viviendas Colectivas y Otras	En Hogares Particulares	Censo 1992	Censo 2001	Diferencia en Puntos Portentuales
BOLIVIA	8.274.325	259.945	8.014.380	70,5%	58,6%	-11,9
Departamento de Oruro	391.870	10.277	381.593	70,2%	67,8%	-2,4
Cercado						
Sección Capital - Oruro	215.660	6.758	208.902	58%	50,8%	-6,7
Primera Sección - Caracollo	19.860	348	19.512	92%	94,3%	2,5
Segunda Sección - El Choro	5.710	32	5.678	99%	99,2%	0,2
Eduardo avaroa						
Primera Sección - Challapata	24.370	561	23.809	94%	90,3%	-3,5

¹¹ Elaboración propia basada en datos del Instituto Nacional de Estadística.

¹² Instituto Nacional de Estadística, Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas. **Mapa de Pobreza – Oruro**. La Paz, 2001.

¹³ Para efectos del cálculo de la pobreza por Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) sólo se considera la población empadronada en viviendas particulares. Este método no es aplicable a viviendas colectivas, personas que residen habitualmente en el exterior, personas que el día del Censo fueron empadronadas en la calle (transeúntes) y aquellas que no proporcionaron información sobre alguna de las preguntas utilizadas en la metodología de medición. Por estos motivos, para el cálculo de la pobreza se considera a 381,593 habitantes, quienes residen en viviendas particulares.

Provincia y Sección de Provincia – Municipio	Población			Porcentaje de Pobres		
	Total Censo 2001 (1)	En Viviendas Colectivas y Otras	En Hogares Particulares	Censo 1992	Censo 2001	Diferencia en Puntos Portentuales
Segunda Sección - Santuario de Quillacas	3.305	22	3.283	92%	92,3%	-0,1
Carangas						
Primera Sección - Corque	8.548	231	8.317	94%	97,0%	2,9
Segunda Sección - Choque Cota	1.957	5	1.952	96%	98,8%	3,2
Sajama						
Primera Sección - Curahuara de Carangas	5.278	451	4.827	96%	93,7%	-1,8
Segunda Sección - Turco	3.818	49	3.769	96%	95,8%	-0,6
Litoral						
Primera Sección - Huachacalla	1.650	302	1.348	85%	72,0%	-13,2
Segunda Sección – Escara	863	1	862	97%	91,9%	-4,9
Tercera Sección - Cruz de Machacamarca	869	10	859	91%	100,0%	8,7
Cuarta Sección – Yunguyo de Litoral	221	0	221	100%	100,0%	0,0
Quinta Sección - Esmeralda	952	7	945	100%	98,8%	-1,2
Poopo						
Primera Sección - Poopó (Villa Poopó)	6.163	44	6.119	81%	85,1%	4,4
Segunda Sección – Pazña	5.469	37	5.432	85%	77,6%	-7,1
Tercera Sección - Antequera	3.352	55	3.297	82%	65,4%	-16,2
Pantaleón Dalence						
Primera Sección - Huanuni	19.428	320	19.108	69%	65,0%	-4,0
Segunda Sección - Machacamarca	4.180	28	4.152	69%	62,3%	-6,4
Ladislao Cabrera						
Primera Sección - Salinas de Garcí Mendoza	8.723	92	8.631	96%	96,7%	0,6
Segunda Sección - Pampa Pampa Aullagas	2.975	15	2.960	99%	97,1%	-2,0
Sabaya						
Primera Sección – Sabaya	4.684	401	4.283	95%	95,2%	0,5
Segunda Sección - Coipasa	616	4	612	95%	98,9%	3,5
Tercera Sección – Chipaya	1.814	1	1.813	99%	99,3%	0,5
Saucari						
Primera Sección - Toledo	7.763	177	7.586	94%	89,8%	-3,8
Tomas Barrón						
Primera Sección - Eucaliptus	5.424	61	5.363	87%	91,7%	4,6
Sud Carangas						
Primera Sección - Andamarca (Santiago de Andamarca)	4.588	26	4.562	97%	96,1%	-1,1
Segunda Sección - Belén de Andamarca	1.548	2	1.546	99%	97,4%	-1,5
San Pedro de Totora						
Primera Sección - Totora	4.941	41	4.900	98%	99,4%	1,1
Sebastián Pagador						
Primera Sección - Santiago de Huari	10.221	112	10.109	91%	87,2%	-4,2
Puerto Mejillones						
Primera Sección - La Rivera	390	1	389	94%	95,1%	1,1
Segunda Sección - Todos Santos	387	11	376	75%	99,2%	24,2
Tercera Sección - Carangas	353	11	342	93%	99,7%	6,6
Nor Carangas						

Provincia y Sección de Provincia – Municipio	Población			Porcentaje de Pobres		
	Total Censo 2001 (1)	En Viviendas Colectivas y Otras	En Hogares Particulares	Censo 1992	Censo 2001	Diferencia en Puntos Portentuales
Primera Sección - Huayllamarca (Santiago de Huayllamarca)	5.790	61	5.729	97%	96,5%	-1,0

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas.

Entre 1992 y 2001, la población con Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) se redujo de 70.2% a 67.8% que representa una disminución de 2.4 puntos porcentuales, hallándose en situación de Pobreza Moderada el 38.9%, en tanto que 27.3% se encuentra en Indigencia, 19.3% en el Umbral de Pobreza, 12.8% presenta Necesidades Básicas Satisfechas y 1.6% está en condiciones de Marginalidad. Los cambios en las condiciones de pobreza del departamento entre 1992 y 2001 muestran una disminución de 2.1 puntos porcentuales de la población en condiciones de Marginalidad y un incremento de 3.2 puntos porcentuales de la población en el Umbral de Pobreza.

En el departamento de Oruro 67.2% de la población tiene insuficientes espacios en la vivienda, 65.9% tiene inadecuados servicios de agua y saneamiento, y 58.8% presenta inadecuada atención en salud. En cuanto a materiales de la vivienda, en la provincia San Pedro de Totora 95.0% de la población tiene materiales de paredes, techos y pisos inadecuados. Más de 73% de la población de las provincias de Tomás Barrón, Ladislao Cabrera y Atahuallpa tiene espacios insuficientes en la vivienda. Salvo la provincia Cercado, más de 85% de la población presenta inadecuación en los servicios de agua y saneamiento. Con excepción de Cercado y Pantaleón Dalence, más de 60% de la población del resto de las provincias utiliza insumos diferentes a gas y electricidad. Sin contar a las provincias Cercado, Litoral y Puerto de Mejillones, más de 50% de la población del resto de las provincias presenta insuficientes niveles educativos, es analfabeta y/o presenta un alto porcentaje de inasistencia escolar. Excepto las provincias Pantaleón Dalence y Poopó, más de 55% de la población del departamento presenta inadecuada atención en salud.

Población Pobre y No Pobre en el Departamento de Oruro

PROVINCIA Y SECCIÓN DE PROVINCIA – Municipio	NO POBRES		POBRES		
	Necesidades Básicas Satisfechas (NBS)	Umbral de Pobreza	Pobreza Moderada	Indigencia	Marginalidad
BOLIVIA	1.328.873	1.990.043	2.742.319	1.738.130	215.015
ORURO	49.026	73.800	148.382	104.194	6.191
Cercado					
Sección Capital - Oruro	47.200	55.620	79.960	25.300	822
Primera Sección - Caracollo	32	1.078	8.884	8.986	532
Segunda Sección - El Choro	3	45	1.066	4.438	126
Eduardo Avaroa					
Primera Sección - Challapata	280	2.021	7.347	12.068	2.093
Segunda Sección - Santuario de Quillacas	8	246	2.165	862	2
Carangas					
Primera Sección - Corque	59	187	1.734	5.827	510
Segunda Sección - Choque Cota	0	23	1.068	861	0
Sajama					
Primera Sección - Curahuara de Carangas	64	238	2.157	2.360	8

Clasificación de Cuerpos de Agua Subterránea – Departamento de Oruro

PROVINCIA Y SECCIÓN DE PROVINCIA – Municipio	NO POBRES		POBRES		
	Necesidades Básicas Satisfechas (NBS)	Umbral de Pobreza	Pobreza Moderada	Indigencia	Marginalidad
Segunda Sección - Turco	6	153	2.040	1.564	6
Litoral					
Primera Sección - Huachacalla	90	287	927	44	0
Segunda Sección - Escara	11	59	364	396	32
Tercera Sección - Cruz de Machacamarca	0	0	217	598	44
Cuarta Sección - Yunguyo de Litoral	0	0	31	187	3
Quinta Sección - Esmeralda	0	11	575	359	0
Poopo					
Primera Sección - Poopó (Villa Poopó)	100	812	3.354	1.853	0
Segunda Sección - Pazña	77	1.140	2.753	1.462	0
Tercera Sección - Antequera	275	866	825	1.326	5
Pantaleón Dalence					
Primera Sección - Huanuni	348	6.348	9.771	2.428	213
Segunda Sección - Machacamarca	166	1.401	2.252	333	0
Ladislao Cabrera					
Primera Sección - Salinas de Garcí Mendoza	29	253	3.141	5.136	72
Segunda Sección - Pampa Aullagas	2	84	1.075	1.799	0
Sabaya					
Primera Sección - Sabaya	15	189	2.191	1.886	2
Segunda Sección - Coipasa	0	7	493	112	0
Tercera Sección - Chipaya	1	12	940	784	76
Saucari					
Primera Sección - Toledo	124	653	1.443	5.096	270
Tomas Barrón					
Primera Sección - Eucaliptus	11	434	2.862	1.994	62
Sud Carangas					
Primera Sección - Andamarca (Santiago de Andamarca)	8	168	1.274	3.094	18
Segunda Sección - Belén de Andamarca	1	39	782	699	25
San Pedro de Totora					
Primera Sección - Totora	0	28	1.386	3.443	43
Sebastián Pagador					
Primera Sección - Santiago de Huari	88	1.201	2.731	5.028	1.061
Puerto Mejillones					
Primera Sección - La Rivera	0	19	274	96	0
Segunda Sección - Todos Santos	0	3	211	162	0
Tercera Sección - Carangas	0	1	62	279	0
Nor Carangas					
Primera Sección - Huayllamarca (Santiago de Huayllamarca)	28	174	2.027	3.334	166

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas

4.1.3 Educación¹⁴

a) Alfabetismo

La tasa de alfabetismo¹⁵ del departamento de Oruro alcanza a 89.39%, es decir 223,633 personas saben leer y escribir. De acuerdo a los últimos tres censos realizados en 1976, 1992 y 2001, la tasa refleja el crecimiento de la población alfabetizada. En el área rural, la tasa de alfabetismo muestra mayor incremento que en el área urbana, de 59.44% en 1976 aumentó a 72.26% en 1992 y a 82.48% en 2001, cifra que representa un incremento de 10.22 puntos porcentuales respecto a 1992, mientras que el incremento de 1992 respecto de 1976 fue de 12.82 puntos.

La tasa de alfabetismo por sexo muestra mayor incremento en la población femenina con relación a la masculina, en el periodo 1976 a 1992, la tasa de alfabetismo de las mujeres aumento de 59.69% a 76.12%, en 16.43 puntos porcentuales, en el año 2001, ésta alcanza a 82.71%, 6.59 puntos más respecto a 1992. En tanto la tasa de alfabetismo de la población masculina aumento de 88.11% en 1976 a 94.07% en 1992 con incremento de 5.96 puntos porcentuales y el año 2001 esta tasa llega a 96.42%, es decir, aumenta en 2.35 puntos respecto a 1992.

Los municipios de Oruro y Huanuni, en el área urbana presentan tasa de alfabetismo superior al 90%, mientras que el municipio de Santiago de Huari con 83.96% presenta la tasa más baja. En el área rural, los municipios de Coipasa y Carangas presentan altas tasa de alfabetismo de 96.82% y 96.36% respectivamente, en tanto que los municipios con tasas bajas son Challapata 72.36% y Huanuni 74.03%.

5. RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEOS

5.1 RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES

Son las aguas continentales que se encuentran en la superficie de la Tierra y se dividen en aguas corrientes y aguas estancadas

Las aguas que discurren por la superficie de las tierras emergidas son muy importantes para los seres vivos, a pesar de que suponen una ínfima parte del total de agua que hay en el planeta. Su importancia reside en la proporción de sales que llevan disueltas, muy pequeña en comparación con las aguas marinas. Por eso decimos que se trata de agua dulce

En general proceden directamente de las precipitaciones que caen desde las nubes o de los depósitos que estas forman. Siguiendo la fuerza de la gravedad, los ríos discurren hasta desembocar en el mar o en zonas sin salida que llamamos lagos.

¹⁴ Instituto Nacional de Estadística. **Oruro: Resultados Departamentales.** Censo Nacional de Población y Vivienda 2001. La Paz, Julio de 2002.

¹⁵ La tasa de alfabetismo es igual al cociente entre el número de personas de 15 años o más que saben leer y escribir y el total de la población de 15 o más años.

5.1.1 EL CURSO DE LOS RÍOS

Los ríos nacen en manantiales a partir de aguas subterráneas que salen a la superficie o en lugares en los que se funden los glaciares. A partir de su nacimiento siguen la pendiente del terreno hasta llegar al mar en muchos casos. Un río con sus afluentes drena una zona llamada "cuenca hidrográfica".

Desde su nacimiento en una zona montañosa y alta hasta su desembocadura en el mar, el río suele ir disminuyendo su pendiente. Normalmente la pendiente es fuerte en el primer tramo del río (curso alto), y muy suave cuando se acerca a la desembocadura (curso bajo).

Los ríos sufren variaciones en su caudal, que aumenta en las estaciones lluviosas o de deshielo y disminuye en las secas. Las crecidas pueden ser graduales o muy bruscas, dando lugar a inundaciones catastróficas.

5.2 RÉGIMEN HIDROLÓGICO

Las variaciones de caudal definen el régimen hidrológico de un río. Las variaciones temporales se dan durante o después de las tormentas. En casos extremos se puede producir la crecida cuando el aporte de agua es mayor que la capacidad del río para evacuarla, desbordándose y cubriendo las zonas llanas próximas.

Si no llueve en absoluto o la media de las precipitaciones es inferior a lo normal durante largos periodos de tiempo, el río puede llegar a secarse cuando el aporte de agua de lluvia acumulada en el suelo y el subsuelo reduzca el caudal basal a cero.

La variación espacial se da porque el caudal del río aumenta aguas abajo, a medida que se van recogiendo las aguas de la cuenca de drenaje y los aportes de las cuencas de otros ríos que se unen a él como afluentes. Debido a esto, el río suele ser pequeño en las montañas, cerca de su nacimiento, y mucho mayor en las tierras bajas, próximas a su desembocadura.

La excepción son los desiertos, en los que la cantidad de agua que se pierde por la filtración o evaporación en la atmósfera supera la cantidad que aportan las corrientes superficiales. Por ejemplo, el caudal del Nilo, que es el río más largo del mundo, disminuye notablemente cuando desciende desde las montañas del Sudán y Etiopía, a través del desierto de Nubia y de Sahara, hasta el mar Mediterráneo.

Top 15 Ríos	Continente	Longitud (km)	Cuenca (km ²)
Amazonas	América del Sur	7.025	7.050.000
Nilo	África	6.670	3.350.000
Missisipí	América del Norte	6.418	3.221.000
Iang-Tsé	Asia	5.980	1.722.000
Yenisei	Asia	5.390	2.500.000
Paraná	América del Sur	4.700	3.140.000
Mecong	Asia	4.700	860.000
Congo	África	4.371	3.690.000

Lena	Asia	4.260	2.310.000
Mackenzie	América del Norte	4.240	1.710.000
Niger	África	4.200	2.270.000
Huang Ho	Asia	4.150	950.000
Obi	Asia	4.040	3.000.000
Volga	Europa	3.700	1.500.000
Murray-Darling	Australia	3.500	1.050.000

Todos los cauces de aguas superficiales sean ríos, esteros, lagos, tranques, zonas húmedas o estuarios, interactúan con el agua subterránea. La interacción puede ser de variadas formas y magnitudes dependiendo de las condiciones hidrogeológicas de cada área. Los cauces superficiales pueden alimentarse de agua subterránea y sustancias en solución proveniente de acuíferos.

5.3 AGUAS SUBTERRANEAS

Antiguamente se creía que las aguas subterráneas procedían del mar y habían perdido su salinidad al filtrarse entre las rocas. Hoy se sabe que esa agua procede de la lluvia.

Las aguas subterráneas forman grandes depósitos que en muchos lugares constituyen la única fuente de agua potable disponible (Fig.5). A veces, cuando circulan bajo tierra, forman grandes sistemas de cuevas y galerías. En algunos lugares regresan a la superficie, brotando de la tierra en forma de fuentes o manantiales. Otras necesitan de que ir a recogerlas a distintas profundidades excavando pozos.

5.3.1 ACUÍFEROS

La diferencia entre la cantidad de precipitación y la cantidad de agua arrastrada por los ríos se filtra bajo el suelo y forma los acuíferos. La infiltración depende de las características físicas de las rocas. La porosidad no es sinónimo de permeabilidad, pues determinadas rocas como las arcillosas, aunque tienen una gran porosidad, son prácticamente impermeables ya que no disponen de conductos que se comuniquen.

Si la capa impermeable forma una depresión, puede aparecer un lago subterráneo. En cambio, si la capa impermeable está inclinada se puede formar un río subterráneo.

Cuando una capa permeable está dispuesta entre dos capas impermeables, forma lo que se denomina acuífero cautivo o confinado. En estas condiciones el agua está sujeta a una presión considerable. Si por cualquier circunstancia se crea una fisura en la capa impermeable, entonces el agua asciende rápidamente hasta el nivel freático para equilibrar las diferencias de presión, a esto se llama pozo artesiano.

Por su parte, si la capa permeable no encuentra límite más que en profundidad, entonces se denomina acuífero libre.

5.3.2 POZOS Y MANANTIALES

Un manantial es un flujo natural de agua que surge del interior de la tierra desde un solo punto o por un área pequeña. Pueden aparecer en tierra firme o ir a dar a cursos de agua, lagunas o lagos. Los manantiales pueden ser permanentes o intermitentes, y tener su origen en el agua de lluvia que se filtra o tener un origen ígneo, dando lugar a manantiales de agua caliente.

La composición del agua de los manantiales varía según la naturaleza del suelo o la roca de su lecho. El caudal de los manantiales depende de la estación del año y del volumen de las precipitaciones. Los manantiales de filtración se secan a menudo en periodos secos o cuando existen escasas precipitaciones; sin embargo, otros tienen un caudal copioso y constante que proporciona un importante suministro de agua local.

Los pozos artesianos, donde el agua brota superficialmente como un surtidor, son el resultado de perforar un acuífero confinado cuyo nivel freático es superior al nivel del suelo. Cuando estas fuentes son termales (de agua caliente), a las sales minerales que llevan disueltas se le reconocen propiedades medicinales, motivo por el cual se han construido en esas zonas muchos balnearios; esta práctica es antigua, y ya en tiempos de los romanos eran muy apreciados los baños públicos con aguas minerales.

La mayoría del agua subterránea se origina como agua meteórica que cae de precipitaciones en forma de lluvia o nieve. Si no se pierde por la evaporación, transpiración de las plantas o escorrentía, el agua se infiltra en el terreno. Al principio ciertas cantidades de agua de precipitación que cae en el suelo seco se retienen fijamente como una película en la superficie y en los micro poros de las partículas del suelo.

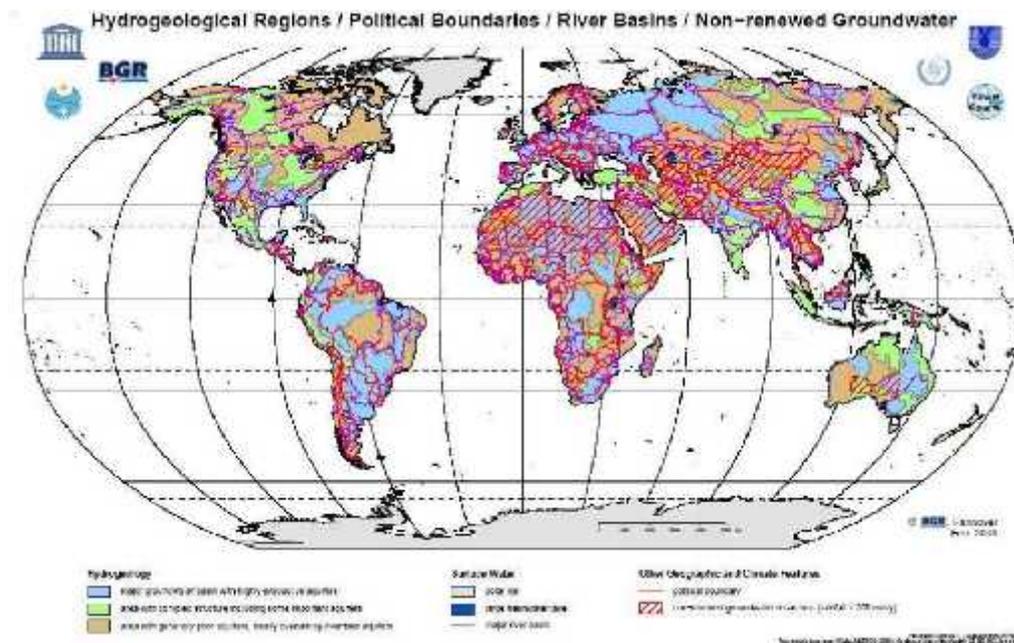


Fig. 5 Mapa de distribución de las aguas subterráneas en la tierra

En un paso intermedio, las películas de agua cubren las partículas sólidas pero el aire está todavía presente en las zonas porosas del suelo, esta zona es llamada zona insaturada o de aireación, y el agua presente es agua gravitacional.

A profundidades menores y en presencia de volumen de agua adecuada, se rellenan todos los huecos para producir una zona de saturación, el nivel superior es la mesa del agua o nivel freático (nivel del acuífero). El agua presente en las zonas de saturación se denomina agua subterránea.

La porosidad y estructura del suelo determina el tipo de acuífero y la circulación de las aguas subterráneas. El agua subterránea puede circular y almacenarse en el conjunto del estrato geológico: este es el caso de suelos porosos como arenosos, de piedra y aluvión. Puede circular y almacenarse en fisuras o fracturas de las rocas compactas que no son en ellas mismas permeables, como la mayoría de rocas volcánicas y metamórficas. El agua corre a través de la roca y circula en fisuras localizadas y dispersas. Las rocas compactas de grandes fisuras o cavernas son típicamente calizas.

Aproximadamente el 3% del agua total en la tierra es agua dulce. De esta un 95% constituye aguas superficiales, 3.5% corresponde a aguas superficiales y 1.5% a la humedad acumulada en los suelos. De todo el agua dulce existente solo un 0.36% está disponible para su consumo.

El agua en algunos acuíferos tiene milenios de antigüedad y se sitúa debajo de algunas de las regiones más secas que existen en la actualidad en la tierra. A pesar de que las personas han extraído para su uso agua de fuentes naturales y pozos desde tempranas civilizaciones, en los últimos 50 años la multiplicación de las poblaciones hace que se necesiten más agua y alimentos provocando una mayor explotación de los recursos hídricos.

5.4 RECURSOS HIDRICOS EN BOLIVIA

Bolivia es un país que cuenta con inmensos recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos, que han sido aprovechados en una escala muy pequeña. Los recursos hídricos superficiales que se originan en la cordillera de los Andes forman parte de tres grandes cuencas.

Los recursos hídricos subterráneos siguen en general la configuración de las cuencas superficiales.

Uno de los más importantes recursos de toda nación es el agua. Bolivia es un país de contrastes, mientras en el suroeste se desarrolla una dramática batalla para lograr este apreciado recurso, el noreste es escenario de una permanente lucha contra el exceso de agua, que produce peligrosas inundaciones

El altiplano, ecosistema que está ubicado en Sud América; situado a 3800 m de altura promedio, se encuentra en el corazón de Los Andes (66-71° de longitud Oeste y 14-22° de latitud Sur) entre la Cordillera Oriental y Occidental que culminan a más de 6000 m. Tres grandes cuencas lacustres caracterizan a esta vasta depresión: La Cuenca del Lago Titicaca al Norte, la Cuenca del Lago Poop al centro y las Cuencas de los Salares de Coipasa y de Uyuni al Sur.

5.5 CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS CUENCAS DE BOLIVIA

5.5.1 ZONAS HIDROGRÁFICAS

Tres grandes cuencas: la cuenca Amazónica, con una extensión aproximada de 724000 km², 65.9% del territorio nacional; la cuenca cerrada o endorreica cubriendo 145081 km² de superficie (13.2) y la cuenca del Río de la Plata que abarca 229500 km² con 20.9 %

El proyecto de Ley de Aguas (versión 32), divide la hidrografía boliviana en cinco cuencas regionales:

- Cuenca Hidrográfica Andina
- Cuenca Hidrográfica del Río Beni
- Cuenca Hidrográfica del Río Mamoré
- Cuenca Hidrográfica del Río Iténes o Guaporé
- Cuenca Hidrográfica del Chaco

Además las subcuencas en cada uno de los departamentos, para una gestión descentralizada y participativa del recurso agua, Bolivia en cuanto a recursos hídricos se divide en tres zonas hidrogeológicas (Fig. 6) en cuanto a la permeabilidad ya sea de las rocas o suelos.

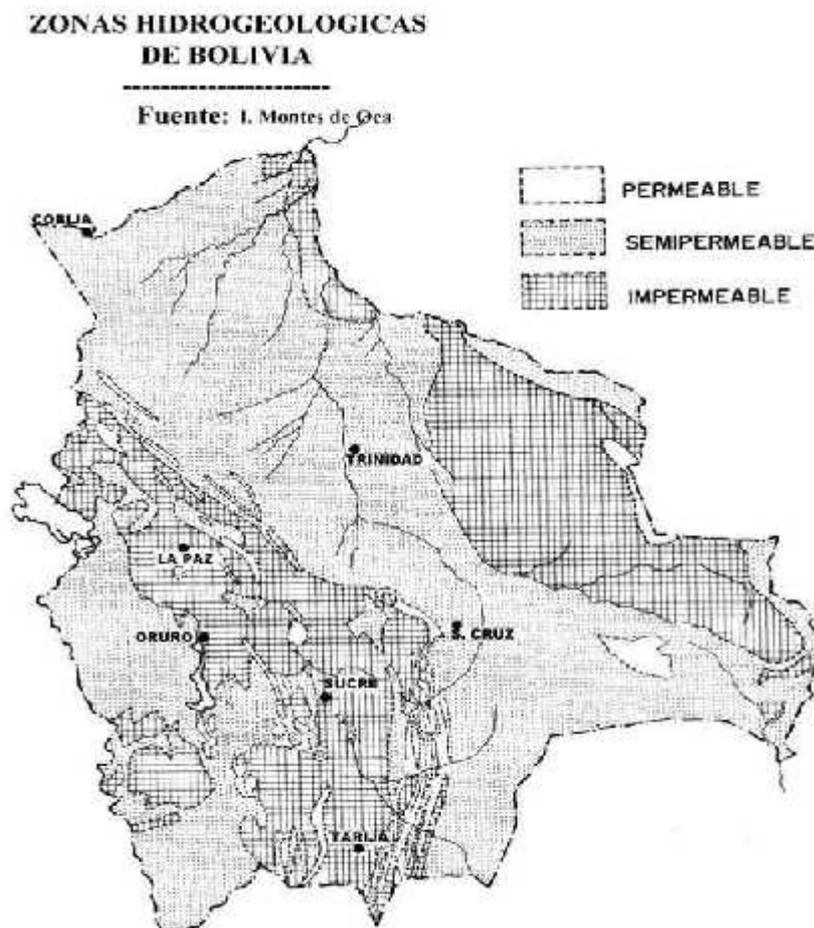


Fig. 6 Mapa de zonas hidrogeológicas

Permeable: Compuestas de gravas y arenas en su mayoría

Semipermeable: Compuesta de mezclas de arena con arcilla y limo no consolidados

Impermeable: Compuestas de arcillas consolidadas, y afloramientos rocosos.

Se tiene pocos estudios concernientes a la capacidad de los acuíferos. Se han realizado esfuerzos aislados para tratar de ver el comportamiento de los mismos a través de modelos, el departamento de Cochabamba cuenta con una.

5.5.2 RECURSOS HIDRICOS SUBTERRANEOS

5.5.2.1 Introducción Los recursos hídricos subterráneos no alcanza los niveles suficientes para establecer su cuantificación a nivel nacional, se ha revisado y analizado información contenida en estudios anteriores, como ser el proyecto de "Desarrollo de los Recursos de Aguas Subterráneas en el Altiplano (NNUU-GEOBOL, año 1973)", se puede encontrar 3 tipos de suelo de acuerdo a su capacidad de infiltración: 1. Suelo permeable constituido por arena y grava sueltas. 2. Suelo semipermeables formados por arena, limo y arcilla poco consolidados como la llanura chaco-beniana y arena, grava y limo como en el altiplano. 3. Suelo impermeable constituido por afloramientos de roca maciza ya sean sedimentarias o ígneas; Cordillera Occidental, Oriental y Escudo Brasileño.

5.5.3 PROVINCIAS HIDROGEOLÓGICAS

5.5.3.1 Provincia hidrogeológica de la cuenca endorreica del Altiplano Andino.- Al Oeste y Sur Oeste del territorio nacional, con una dirección Norte Sur, se ha desarrollado entre la Cordillera Occidental y la Cordillera Real u Oriental, la extensa planicie Altiplánica, que ha sido rellenada con sedimentos de origen glacial a fluvio-glacial provenientes de las cordilleras circundantes y sedimentos de origen lacustre en las zonas centrales de las subcuencas donde aun persisten restos de lagos antiguos como el Titicaca y Poopo; y los salares de Uyuni y Coipasa, declinando de Norte a Sur.

La cordillera Occidental da lugar la infiltración, circulación y descarga del agua subterránea por medio de fracturas y no así a la formación de acuíferos continuos, se divide regionalmente en subcuencas separadas debido a las diferencias geológicas estructurales, hidrológicas y meteorológicas existentes. La descarga de los acuíferos subterráneos se produce mediante el flujo subterráneo y la escorrentía superficial hacia el lago Titicaca en el Norte

En la región Norte del Altiplano, hidrogeológicamente la más importante y extensa es la Sub-Cuenca de Calamarca-Viacha-Pucarani y en el Altiplano Central la más importante es la Subcuenca de Oruro-Caracollo.

5.5.4 HIDROGRAFIA EN EL DEPARTAMENTO DE ORURO

La hidrografía del departamento de Oruro pertenece a la cuenca Cerrada o endorreica del altiplano. Sin embargo, el límite oriental del departamento esta prácticamente sobre la línea divisoria de aguas. La provincia Abaroa se encuentra en el lugar donde se separan las tres cuencas del país; la Cerrada del Altiplano, la Amazónica y la del Plata. El río Juchusuma desemboca al Poopó. Las cabeceras del río Pilcomayo en el río Cachi Mayu, desemboca a la

cuenca del Plata y los ríos Inca Waykho, Wayllajara, Anta Palca y Pallcoma contribuyen al Amazonas.

Dentro de la cuenca Cerrada, el río más importante es el Desaguadero que desde el lago Titicaca (departamento de La Paz) ingresa en territorio orureño para formar los lagos Uru-Uru y Poopó.

El lago Poopó está a 3686 m. de altitud y tiene una superficie de 2520 Km² sus aguas son poco profundas, registrándose niveles inferiores a 50 centímetros. La mayoría de sus ríos aportantes no llegan a desembocar en el lago, perdiéndose en grandes planicies a su alrededor dando lugar a extensas áreas denominadas bofedales. Los ríos que llegan al Poopó son el Desaguadero y el Márquez. El lago Uru Uru se ha formado por los excedentes del Poopó. El lago Soledad se forma solo en épocas de lluvia cuando se desborda el río Desaguadero. En épocas de máxima precipitación, los rebalses de lago Poopó desembocan en la laguna Coipasa, en el salar del mismo nombre, a través del río Lacajahuira. Esta laguna también recibe a los ríos Lauca, Todos Santos, Barras, Cancosa y Moscoma. El salar de Coipasa además de ser un inmenso depósito de cloruro y carbonato de sodio, contiene litio, potasio y boratos.

5.5.4.1 SUBCUENCA DESAGUADERO

Esta subcuenca tiene una superficie de 35700 Km², que como principal componente tiene al Río Desaguadero que comienza en el golfo de Taraco del lago Titicaca y antes de llegar al lago Uru Uru se bifurca desembocando una de sus ramas en el lago Uru Uru y la otra en el lago Poopó. En el ingreso del antiguo lago Uru Uru su trayectoria se vuelve a bifurcar asumiendo los nombres de río Kimpata y río Parina Pata.

Después de un recorrido de 383 Km termina en el lago Poopó, con una diferencia en altura de 124 m y pendiente media 0.03 %. Esta reducida pendiente hace que el río se desborde muy fácilmente, así en la estación de FFCC Soledad, año tras año, salen las aguas de su cause y forman el llamado lago Soledad.

Algunos años, como en 1940 y 1976, durante los meses de enero y febrero, se invierte el sentido de la corriente del río Desaguadero debido a la abundancia de lluvias en la cuenca superior del río y al descenso del nivel del lago. Este fenómeno ya no se dará por la construcción de un dique al inicio del río, su afluente más importante es el río Mauri. A la altura de la mina Inti Raymi, provincia Saucari, Oruro, se divide en dos brazos, el izquierdo (al este) que desemboca en el lago Uru Uru y el derecho en el lago Poopó.

El flujo promedio de salida del lago Titicaca fue de 16 m³/s en el periodo de 1956 a 1983 y sobre los 110 m³/s los 5 años más lluviosos posteriores. El aporte anual promedio del río Desaguadero al Lago Poopó, durante el periodo 1975-1995 representó cerca del 80 % del ingreso total, que se estima en 3800 m³/s

El caudal anual medio natural disponible del río Desaguadero en Ulloma es 77.17 m³/s y el del Mauri, su principal afluente, en Calocito es 18.57 m³/s.

Los primeros 8 kilómetros desde la salida del lago Titicaca hasta el Hito 43 son de curso continuo con el Perú. A lo largo del río Desaguadero se identifican los siguientes trechos:

Del Km 0 al Km 63 llanuras anchas del puente Internacional a Nazacara

Del Km 63 al Km 226 zona montañosa de Nazacara a Chilahualla

Del Km 226 al Km 398 llanuras de inundación de Chilahualla al lago Poopo

El año 2003 se utilizaron las aguas del río Desaguadero para llenar un tajo abierto, para la explotación de oro en la mina Inti Raymi. El volumen de agua utilizado fue de 48 millones de m³ a un promedio de 4 m³/s, formando una laguna de agua dulce de 1000 m de largo por 800 m de ancho y 240 m de profundidad.

5.5.4.2 SUBCUENCA POOPÓ

La subcuenca del Poopó tiene una extensión de 16343 Km². Uno de los principales colectores es el lago Uru Uru, en el cual antiguamente desembocaba el río Desaguadero, pero debido a la colmatación y evaporación este lago es solo un curso de agua que echa sus aguas al lago Poopó.

5.5.4.2.1 LAGO POOPO

El lago Poopó situado en el centro del altiplano, esta a 3686 m de altura. La cuenca lacustre es muy plana sus aguas son poco profundas, hasta tan solo 50 centímetros, sus orillas pueden desplazarse sobre grandes distancias en función de los aportes. La isla de Panza, situada en el extremo de una zona de poca profundidad y de acuerdo a la época de altas y bajas aguas, puede convertirse en una península.

La cuenca del lago Poopó es de 24829 Km². La superficie media del lago Uru Uru – Poopó puede variar de la siguiente forma:

Altura (msnm)	Superficie (Km ²)
3683	323
3684	793
3685	1.336
3686	1.704
3687	2112
3688	2519

Los principales afluentes del lago Poopo son los ríos:

Desaguadero 383 Km de longitud, Khampara 87 Km, Parina Pata 59 Km, Antequera 27 Km, Juchusuma 28 Km, Tacahua 70 Km; Laca Jauría 112 Km que en realidad es una salida de agua hacia el Salar de Coipasa. Muchos de los ríos aportantes se insumen en inmensos bofedales a su alrededor.

El río Laca Jauría que conecta el lago Poopo con el salar de Coipasa, tiene una longitud de 112 Km y una pendiente media de 0.02% lo que lo hace en muchos tramos de imperceptible movilidad.

5.5.4.2.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

La superficie del lago Poopó varía en función de las diferentes profundidades que dependen de su recarga en periodos lluviosos. La profundidad del lago está comprendida entre los 0.50 y 2.5 m y se puede distinguir una zona central de 1500 Km² con una profundidad promedio de 1.4 m y una zona periférica de carácter temporal que puede alcanzar los 1150 Km² con profundidades generalmente inferiores a los 0.50 m, de donde el volumen en periodo de aguas altas es de 2569 millones de m³ y en periodos de aguas bajas de 1317 millones de m³.

La superficie señalada por Neven Lemaire de 2530 Km² es una media entre los valores máximos y mínimos obtenidos por B. Boulange et al. El año 1977 se registró una diferencia de superficie de 630 Km² entre el periodo de altas y de bajas aguas.

En 1982, luego de tres años consecutivos de sequía, el nivel del lago Poopó descendió a su nivel mínimo, el lago Uru Uru se secó completamente. En 1986 después de una intensa estación lluviosa el lago Poopo alcanzó una superficie de casi 4000 Km², por otro lado Mourguiart indica que en 1994-95 el lago Poopó estaba seco.

Según B. Boulange, et al, el lago Poopó tiene una longitud máxima de 90 Km desde la desembocadura del río Desaguadero hasta el Río Márquez y un ancho máximo de 53 Km. La longitud de sus costas en periodo de aguas altas es de alrededor de 310 Km., Orbigny en 1835 midió una longitud de 110 Km y un ancho de 20 Km.

5.5.4.2.3 BALANCE HÍDRICO

Siempre de acuerdo a J.P. Carmouze, et al, el Poopó puede considerarse un lago cerrado. Así las pérdidas de agua, que contrabalancean los aportes de los afluentes y de las lluvias, se realizan por evaporación e infiltración.

5.5.4.2.4 APORTES

El afluente principal es el río Desaguadero con un 92.5% de las aguas fluviales y un 7.5% del río Marquez. Entre ambos aportan 2560 millones de m³ al año. El aporte de la lluvia es del orden de 600 millones de m³.

Durante un año de sequía, sin flujo de ingreso de agua del río Desaguadero y los otros aportantes, el Poopó se sacaría completamente después de un periodo de 6 a 12 meses.

5.5.4.2.5 PERDIDAS

Aunque no se tienen medidas disponibles, se admite que la evaporación del Poopó es de la misma magnitud que la del Titicaca ¿1.55 m/año? Alcanzando un volumen de agua evaporada de 3100 millones m³., la pérdida por infiltración es de 62 millones de m³.

5.5.4.2.6 RENOVACIÓN DE AGUAS DEL POOPO

Considerando el tiempo necesario para llenar el lago por los aportes solamente o también para vaciarlo se tiene un tiempo de residencia de las aguas $T_a = 8.5$ meses, y la renovación anual de las aguas de 1.42 o sea unas 100 veces mas alta que la del Titicaca.

5.5.4.2.7 CIRCULACIÓN GLOBAL DE AGUAS EN EL SISTEMA TITICACA - POOPÓ

Según los estudios realizados por J.P. Carmouze et al se concluye que se produce un aumento gradual de la concentración de sales disueltas de acuerdo a las siguientes cifras: 270 mg/l en los afluentes del Titicaca; 900 mg/l en el lago Titicaca; 1100 mg/l en los afluentes del Poopó y 25000 mg/l en el lago Poopó.

5.5.4.2.8 PERMANENCIA DEL LAGO POPO

Según el PELT el lago Poopó esta en una situación muy precaria. La fuerte evaporación de agua, la baja pluviosidad y los reducidos caudales que lo alimentan, no permiten un aumento de su volumen de agua, indispensable para mantener su vida biológica, ni una disminución de su salinidad. Por ello, aparentemente no seria posible preservar sus recursos hidrobiológicos.

La mayor parte de sus ríos tributarios, presentan tasas de salinidad elevada, superiores a 2000 mg/l. El brazo derecho del río Desaguadero, en 1994 estuvo colmatado de sedimentos y solo funcionaba de manera precaria. El lago recibe de manera regular las aguas saladas y contaminadas que previamente transitaron por el lago Uru Uru.

En los años 1987-91, como consecuencia de las grandes crecidas en el río Desaguadero, la producción pesquera del lago Poopó se incremento hasta 500 pescadores.

El PELT ha estimado que para mantener el lago Poopó con un buen nivel, seria necesario que ingrese $54 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua en promedio. Es difícil obtener este caudal del río Desaguadero y del río Mauri, por lo que la supervivencia del lago Poopó depende casi exclusivamente de aguas no reguladas o de derivaciones de otras cuencas.

El lago Uru Uru y la laguna Soledad tienen necesidad de $4 \text{ m}^3/\text{s}$ y $3.3 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente para mantener niveles de agua que permitan desarrollar la flora y la fauna acuática. Para mantener el nivel actual de salinidad se precisa un caudal de $14 \text{ m}^3/\text{s}$.

5.5.4.2.9 LAGO URU URU

Al sur de la ciudad de Oruro, las aguas del río Desaguadero se desbordan sobre la pampa y forman el lago Uru Uru, que tiene una forma triangular con un vértice dirigido al sur y un cateto mayor orientado de este a oeste. El área de este lago en el año 1980 era de 280 Km^2 con un ancho máximo de 23 Km y un largo de 20 Km. La profundidad no pasa de 1 m ya que no alcanza a cubrir completamente el terraplén de FFCC Oruro-Challapata, por donde sigue circulando el tren. Aunque en algún momento cubrió el terraplén del camino carretero, el nivel del lago tiene una fluctuación constante y continuamente esta aumentando. La calidad química del agua es casi similar a la del lago Poopó.

Entre el lago Uru Uru y el Poopó, el río Desaguadero tiene una trayectoria de 30 Km de largo. En el lago Uru Uru existía un criadero de pejerrey que era explotado por los pescadores del lugar.

5.5.4.3 SUBCUENCA COIPASA

Esta subcuenca tiene una extensión de 27760 Km², forman parte de ella el salar (altura 3657m.) y la laguna de Coipasa (altura 3653 m.). Sus principales ríos son Sabaya (70 Km), Lauca (151 Km), Jalanta (67 Km), Barras (130 Km).

En la parte norte del salar de Coipasa, que tiene una área de 2218 Km², existe una masa de agua que cubre una extensión de 145 Km² recibiendo las aguas dulces del río Lauca y el Chullpan Cota. Se trata de un lago de muy poca profundidad y con mucha salinidad que tiene extensiones muy variables de acuerdo a las épocas de estiaje y lluvias.

5.5.5 RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS.

El conocimiento de la presencia de aguas subterráneas en el Departamento de Oruro reviste particular importancia en el marco de una planificación estratégica del uso de los recursos naturales.

5.5.5.1 OCURRENCIA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Según la leyenda internacional para mapas hidrogeológicos publicado por STRUCKMEIER et al., 1995 la ocurrencia de aguas subterráneas en el Departamento de Oruro, se ha clasificado en tres unidades hidrogeológicas principales:

- Unidades hidrogeológicas relacionados con acuíferos porosos no consolidados
- Unidades hidrogeológicas relacionados con acuíferos fisurados, incluidos los acuíferos karstificados
- Unidades hidrogeológicas relacionados con acuíferos locales y limitados (en rocas porosas o fisuradas) o carencia de recursos de aguas subterráneas notables.

5.5.5.2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS RELACIONADAS CON ACUÍFEROS POROSOS NO CONSOLIDADOS

Los recursos de aguas subterráneas más importantes se encuentran en depósitos porosos no consolidados de productividad alta, ubicados en el Altiplano y en menor extensión en la zona de la Cordillera.

En el Altiplano, la zona de mayor interés para el aprovechamiento de aguas subterráneas constituye los depósitos en cauces de ríos antiguos cubiertos por una capa fluvio-lacustre (PTHs, f), un ejemplo de este tipo de acuíferos se encuentra en la cuenca de Caracollo (Challapampa). También los abanicos aluviales PTHs (ab), pertenecen a este grupo, sin embargo en el Departamento de Oruro son de reducida extensión.

Acuíferos en rocas porosas no consolidadas de productividad media a baja se encuentran en sedimentos fluvio-lacustres PTHs (fl) del Altiplano, el aprovechamiento de estos acuíferos puede ser restringido por la salinización de los mismos.

Dentro de esta unidad hidrogeológica se puede diferenciar los siguientes acuíferos:

5.5.5.3 ACUÍFEROS EXTENSOS Y PRODUCTIVOS

a) Aluviones en cauces de ríos maduros, Hs (arm)

Aluviones en los valles de ríos maduros de edad holocénica, Hs (arm), se encuentran en ríos principales que drenan cuencas hidrográficas del Departamento de Oruro como los ríos Desaguadero, Lauca, Huanuni, Tacagua y otros. Están formados por material aluvial como gravas, arenas y limos.

Estos ríos se clasifican como ríos maduros por su ancho, la composición litológica y la potencia de los depósitos, son considerados en este grupo por su gran productividad. En general, en los valles de estos ríos existen acuíferos productivos cuya agua es extraída mediante pozos excavados para uso doméstico. El aprovechamiento de estos acuíferos en algunos ríos está restringido por la contaminación de las aguas superficiales como el valle del río Huanuni. Donde se hace necesario evitar el derrame de residuos mineros de Huanuni y la contaminación procedente de las minas de Japo, Santa Fé y Morococala.

Un estudio en detalle del acuífero subterráneo al que alimenta el río Huanuni posibilitaría determinar si sus aguas pueden tener o no usos productivos agrícolas e industriales.

b) Abanicos aluviales, PTHs (ab)

Los abanicos aluviales de edad pleistocénica a holocénica, PTHs (ab), mas importantes del Departamento de Oruro se encuentran en el borde oeste de la Cordillera Oriental depositados al pie de la misma y al oeste del Lago Uru Uru. Estos depósitos son de origen fluvial, están formados por cantos, gravas, arenas y limos. En general forman acuíferos productivos.

c) Depósitos fluviales en cauces de ríos antiguos, cubiertos por una capa fluvio-lacustre, PTHs (f)

En el área de Challapampa ubicada al norte de la ciudad de Oruro, existen sedimentos fluviales compuestos por gravas y arenas de edad pleistocénica a holocénica PTHs (f) que están cubiertos por arcillas, limos y arenas de una fase fluvio-lacustre (ver grupo 1.2). Los pozos perforados en estas formaciones fluviales demuestran caudales entre 20 y 40 l/s y constituyen la fuente principal de abastecimiento de agua potable a la ciudad de Oruro.

5.5.5.4 ACUÍFEROS LOCALES O DISCONTINUOS DE PRODUCTIVIDAD MODERADA

a) Depósitos fluvio-lacustres PTHs (fl)

Los depósitos fluvio-lacustres del Pleistoceno a Holoceno sedimentario PTHs (fl) tienen una distribución amplia en la zona altiplánica del Departamento de Oruro, están constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas. En este grupo se incluyen los depósitos fluvio-glaciales del

margen oriental de la cuenca Caracollo, los depósitos coluviales y terrazas por sus características hidrogeológicas similares en productividad a los depósitos fluvio - lacustres.

b) Unidades hidrogeológicas relacionadas con acuíferos fisurados, incluido acuíferos karstificados

Un segundo grupo constituyen los acuíferos fisurados de productividad media a baja, con recursos de aguas subterráneas frecuentemente solo en profundidad. Entre ellos son considerados de interés para el aprovechamiento de aguas subterráneas, las rocas calcáreas Ks3, de poca distribución en el Departamento de Oruro, las rocas volcánicas del Oligoceno, Plioceno y Holoceno Volcánico que tienen una amplia distribución en el Departamento. Las areniscas del Jurásico (Formación Ravelo) también pertenecen a este grupo. Dentro de esta unidad hidrogeológica se pueden diferenciar los siguientes acuíferos:

b.1) Acuíferos localmente extensos y relativamente productivos

Calizas del Cretácico superior (Ks3)

En el extremo norte del Departamento de Oruro afloran calizas del Cretácico superior (Ks3). La karstificación junto con la fracturación de las calizas es la causa para la ocurrencia de manantiales productivos en este tipo de rocas.

b.2) Acuíferos locales o discontinuos de productividad moderada

Calizas del Pleistoceno a Holoceno sedimentario, PTHs (cal)

Las calizas de este grupo se encuentran al oeste del Lago Uru Uru en una franja de dirección norte-sur, la fracturación de las calizas ocasiona acuíferos moderadamente productivos.

Rocas volcánicas del Plioceno a Holoceno Volcánico, PHv

En la parte occidental del Departamento de Oruro existen flujos de lava de estrato volcanes y domos de composición andesítica del Plioceno a Holoceno volcánico. La fracturación y diaclasamiento de las rocas volcánicas favorecen la ocurrencia de aguas subterráneas producto de la infiltración desde la superficie.

Vulcanitas del Oligoceno a Plioceno volcánico, OPv

A esta unidad pertenecen las piroclastitas con grado variable de soldadura, coladas de lava, tobas, domos y brechas de flujo de la serie magmática que abarca desde el Oligoceno, Mioceno a Plioceno. Se encuentran distribuidos en grandes extensiones en la parte central y occidental del Departamento, la permeabilidad secundaria de estas rocas favorecen la ocurrencia de aguas subterráneas.

En áreas fracturadas, el agua superficial se infiltra, formando acuíferos que alimentan manantiales. Un ejemplo es la fuente captada en Cala Cala al sur de la ciudad de Oruro, con un caudal aproximado de 35 - 40 l/s.

Jurásico, Js

La unidad hidrogeológica con acuíferos de productividad moderada forman las rocas jurásicas de la Formación Ravelo que están constituidas por areniscas eólico-fluviales. Esta formación tiene un espesor de 1100 m. En campo forman serranías sobresalientes las cuales están ubicadas al noreste del Departamento de Oruro.

b.3) Unidades hidrogeológicas relacionadas con acuíferos locales y limitados (en rocas porosas o fisuradas) o carencia de recursos de aguas subterráneas notables

El tercer grupo está constituido por rocas porosas o fisuradas de productividad baja a nula. A este grupo pertenecen acuíferos locales en rocas porosas y zonas de fracturas de productividad baja, por ejemplo los depósitos lacustres en el Altiplano y las areniscas y lutitas del Devónico Inferior y Silúrico Superior distribuidos en la hoja.

En algunas áreas del Departamento de Oruro se encuentran rocas sin recursos de aguas subterráneas notables, constituidos por conglomerados, areniscas y arcilitas de edad terciaria y también las limolitas, lutitas y diamictitas de edad devónico, silúrico y Ordovícico.

b.4) Acuíferos menores con recursos de aguas subterráneas locales y limitados.

Depósitos lacustres, PTHs (I)

Los depósitos lacustres pleistocénicos a holocénicos sedimentario PTHs (I), están constituidos por limos, arcillas, arenas y calizas con intercalaciones evaporíticas. Estos sedimentos se encuentran ampliamente distribuidos en el borde del lago Poopó y del salar de Coipasa. Los acuíferos en los depósitos lacustres debido a que están constituidos por sedimentos poco permeables son de baja productividad. Se puede decir que las aguas en los sedimentos lacustres en general son saladas, por sus niveles estáticos muy pequeños bajo la superficie que favorece la evaporación.

Rocas del Devónico y Silúrico superior sedimentario, DSs

Las rocas pertenecientes al Devónico y Silúrico superior sedimentario están restringidas a pequeños afloramientos al norte y este del Departamento de Oruro. Las rocas están conformadas por areniscas interestratificadas con lutitas y limolitas pertenecientes a la formación devónica Icla y a la formación Catavi de edad Silúrica. La permeabilidad secundaria de los sedimentos normalmente es baja; la ocurrencia de manantiales en estos sedimentos es la causa para clasificar los acuíferos a nivel local y limitado en relación a los recursos de aguas subterráneas.

b.5) Acuíferos sin recursos de aguas subterráneas notables. (no se excluye que existan acuíferos paleozoicos en profundidad)

Depósitos del Terciario sedimentario, Ts y Cretácico inferior sedimentario, Ks

A este grupo pertenecen los afloramientos terciarios distribuidos irregularmente en la parte central del Departamento. Los depósitos sedimentarios están formados por conglomerados, areniscas, arcilitas y limolitas localmente yesíferas y poco permeables. Acuíferos en estos afloramientos son raros y no tienen una productividad apreciable por la cementación de estos sedimentos.

Rocas del Silúrico y Ordovícico sedimentario, SOs

A este grupo pertenecen las rocas del Silúrico depositados debajo de la formación Catavi (Uncía, Llallagua y Cancañiri) y las rocas ordovícicas. Las rocas están constituidas por limolitas, lutitas, areniscas, cuarcitas y diamictitas que afloran en la parte oriental del Departamento de Oruro.

En general esta unidad tiene muy pocos recursos de aguas subterráneas notables por la falta de formación de acuíferos por el frecuente cambio entre rocas consolidadas y sedimentos finos muy plegados. Sin embargo en profundidad no se descarta la ocurrencia de agua subterránea.

Gneis del Precámbrico, Prc

A esta unidad pertenece un afloramiento de gneis del Precámbrico ubicado al noroeste del Departamento de Oruro. La falta de permeabilidad secundaria desfavorece la ocurrencia de aguas subterráneas.

5.5.5.5 VERTIENTES TERMO – MINERALES

Además de las aguas dulces y saladas en el Departamento de Oruro, se conocen manifestaciones geotérmicas en la Cordillera Occidental y en el borde oeste de la Cordillera Oriental (límite entre el Altiplano y la Cordillera Oriental). En este último se han identificado las vertientes de: Obrajes, Capachos, Pazña, Urmiri, Cabrería, Bella Vista y Pampa Rosario (Poopó), Kara Baño (Machacamarca), Q'ooni Yaku (Sora Cachi), Kasilla y Junt'uma de Sajama, Aguas Calientes de Huanuni, Aguas Calientes de Challada, Phut'ina (Ancacato), Aguas calientes (Cruce Aguas Calientes), Kachuruma y Oskoruma (Castilla Uma), Chaca (mina Ajata), Malliri (Peñas), Urmiri de Huari, Senaco (Vichajlupe). Cebadilla, Pusuta y Kaiñuacunka (Lagunillas), Qarpa, Ch'alluma, y Alphuyu (Villa Belen), Yunguyo de Litoral, Aguas Calientes de Cabaraya (La Rivera), Aguas Calientes (Todos Santos) y Pacocahua (Sabaya). La temperatura de estas fuentes varía de 27.5 °C a 75 °C y el total de sólidos disueltos (TSD) varía de 1078 a 37735 mg/l. En base a estos resultados se han clasificado como vertientes termo-minerales. De estas fuentes termo-minerales solamente son usadas como balnearios públicos con infraestructura, las fuentes de Obrajes, Capachos y Pazña.

5.5.5.6 ESTUDIO HIDROLÓGICO CON ISÓTOPOS EN LA MICRO CUENCA ORURO-CARACOLLO

La presente información fue recopilada de un estudio que realizó la Universidad Técnica de Oruro, la Agencia Internacional de Energía Atómica con sede en Viena, el Instituto Boliviano de Energía nuclear IBTEN y el Servicio Geológico de Bolivia

En la actualidad la ciudad de Oruro se abastece de agua potable a partir del acuífero subterráneo de Kala Caja y Challapampita donde existen varios pozos perforados hasta el acuífero subterráneo que se encuentra a una profundidad media de 80 m.

Esta microcuenca recibe la descarga de varios ríos de agua dulce descendientes de las cordilleras aledañas como son los ríos Paria, Leque Palca, Sau Sau, Pongo, Jauría, Jacha Jauría, que descargan sus aguas a la planicie donde se infiltran, evaporan o escurren hacia los lagos Poopó y Uru Uru.

Por otro lado en las proximidades de Oruro existen otras fuentes, de agua ácida de mina, aguas termales, aguas freáticas superficiales saladas, aguas servidas municipales, efluentes industriales, etc que al tratarse de una micro cuenca cerrada generan un cuadro hidrogeológico muy complejo como muestra la fig. 5.1 que podría poner en peligro el acuífero subterráneo potable.

Con esos antecedentes, la Universidad Técnica de Oruro realizó un estudio multidisciplinario con apoyo de la Agencia Internacional de Energía Atómica con sede en Viena, el Instituto Boliviano de Energía nuclear IBTEN y el Servicio Geológico de Bolivia empleando isótopos radioactivos naturales que por fraccionamiento durante la evaporación y la condensación permiten ser utilizados sin riesgo para el estudio de acuíferos subterráneos (fig. 5.2)



Fig. No 5.1 Cuadro hidrogeológico de circulación de aguas en la zona de Oruro

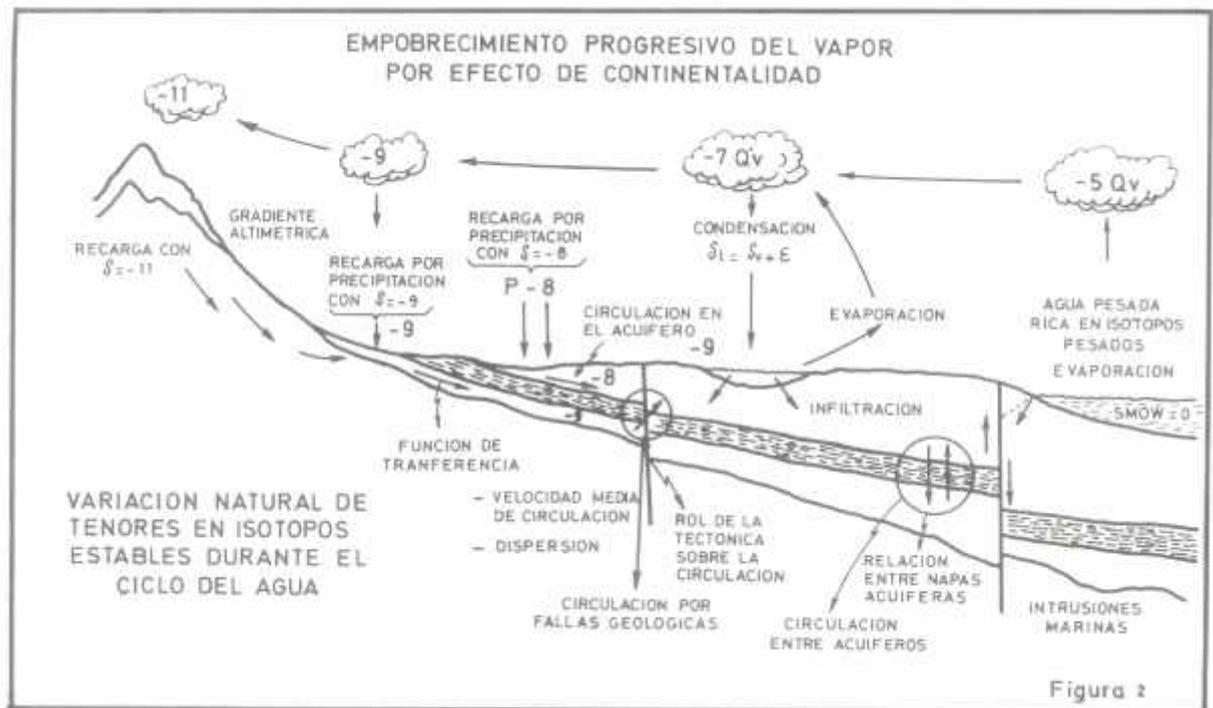


Fig. No 5.2 Esquema de fraccionamiento isotópico por evaporación y condensación por efecto de continentalidad

Para estudiar esta microcuenca se consideró el triángulo formado por Caihuasi, Oruro Caracollo donde se localizaron los puntos de muestreo que se señalan en la fig. 5.3.

En ésta región existen por lo menos 4 acuíferos s en las formaciones sedimentarias continentales cuyas características principales son las siguientes:

I Acuífero salado no confinado

Que contiene alta salinidad (por encima de 18 g/l) esencialmente en sodio, calcio, potasio como cationes y cloruros, sulfatos y bicarbonatos como aniones.

Estas altas concentraciones en algunos lugares alcanzan concentraciones superiores a 15.000 mg/l en Cl^- y 6.000 mg/l en SO_4^{2-} , por lo cual estas aguas tienen un carácter químico muy agresivo.

II Acuífero Potable,

Se encuentra por debajo del acuífero anterior, se extiende desde los 40 m hasta los 90m de profundidad, contiene de 500 a 800 mg/l de iones disueltos, principalmente carbonatos.

III Acuífero profundo de aguas termales

Emana en la superficie como aguas termales de circulación profunda en Capachos con 10.5 lts/seg, Obrajes con 14 lts/seg, Existen además otras fuentes termales en Pazña, Machacamarca y Aguas Calientes (Huanuni)

IV Acuífero de escorrentía de aguas superficiales

Formado por ríos, lagunas y lagos de evaporación superficial.

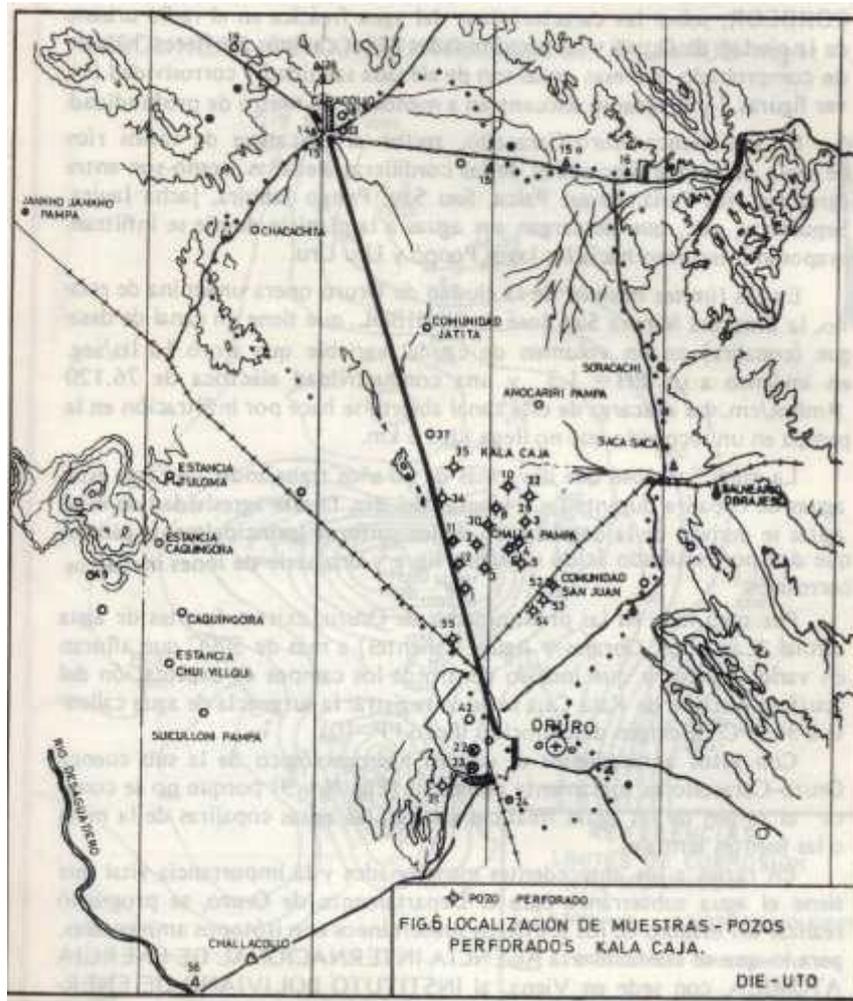


Fig. 5.3 Localización de puntos de muestreo en pozos perforados de Kala Caja

El objetivo de éste estudio isotópico fue:

- Determinar el origen de la recarga de los acuíferos subterráneos
- Origen y tiempo de residencia de las aguas subterráneas
- Interrelación entre acuíferos superficiales y profundos
- Origen de las aguas de la mina San José
- Direcciones de flujo en los acuíferos subterráneos

Interpretación de los resultados obtenidos por métodos isotópicos estables

Los resultados obtenidos para las 61 muestras de aguas en los diferentes puntos de muestreo tanto superficiales, subterráneas, de interior mina, termales etc. se muestran en las siguientes figuras No 9.5 a 9.7 en forma de diagramas de frecuencia tanto para O 18 como para Deuterio donde se puede distinguir muy claramente que existen diferentes tipos de aguas

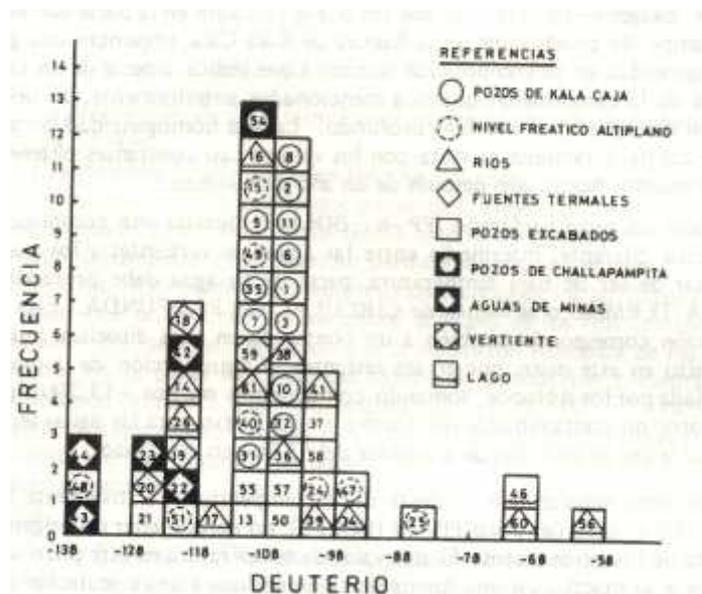


Fig. No 5.4 Histograma de frecuencia en Deuterio

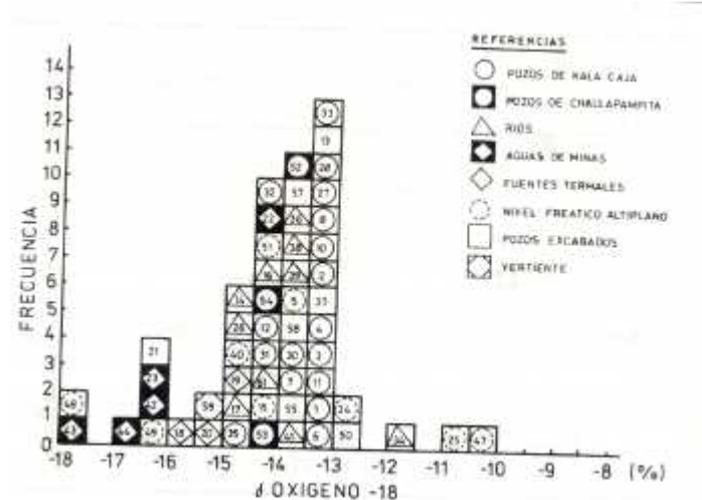


fig. No 5.5. Histograma de frecuencia en O 18

El intervalo de variación en isótopos estables en las muestras recolectadas es muy amplio lo que significa que se tienen familias o grupos de aguas diferentes en su origen y características como se explica a continuación:

- Las muestras más negativas en contenido de O 18 (hasta -18‰) son aguas que provienen de niveles profundos en la mina San José
- Las aguas termales tienen una composición que oscila para el Oxígeno entre -14 y -18‰ , estos valores revelan un origen del agua más profundo que para los pozos del acuífero de Kala Caja.
- Casi todos los pozos de producción del campo de Kala Caja se ubican en una sola clase isotópica en O 18 entre -13‰ y -13.5‰
- Las muestras de aguas freáticas de poca profundidad (acuífero superficial), presentan ubicación diferente en el diagrama de frecuencia de desviación isotópica del O 18

situándose justamente en ambos extremos e intermedio del referido diagrama. lo que significa que fueron sometidas a diferentes etapas de fraccionamiento isotópico

De los resultados anteriores se deduce que:

1. A pesar de la importancia de las variaciones de composición química de las aguas, se observa una gran homogeneidad isotópica en el origen del agua del acuífero de Kala Caja que no corresponde al de las aguas de los ríos en la zona, lo que significa que las aguas del acuífero y la de los ríos que escurren sobre la planicie corresponden a dos familias diferentes de agua como puede observarse claramente en el gráfico de probabilidad acumulada de la fig. 9.7.
2. Considerando la diferencia de altitud entre el altiplano en Oruro y las cumbres de las cordilleras, no se puede explicar el amplio rango de variación en la composición de los isótopos estables únicamente como consecuencia de diferencia de alturas en las zonas de recarga sino que también se deben tomar en cuenta los efectos de las variaciones climáticas y de las corrientes del niño durante los últimos milenios.

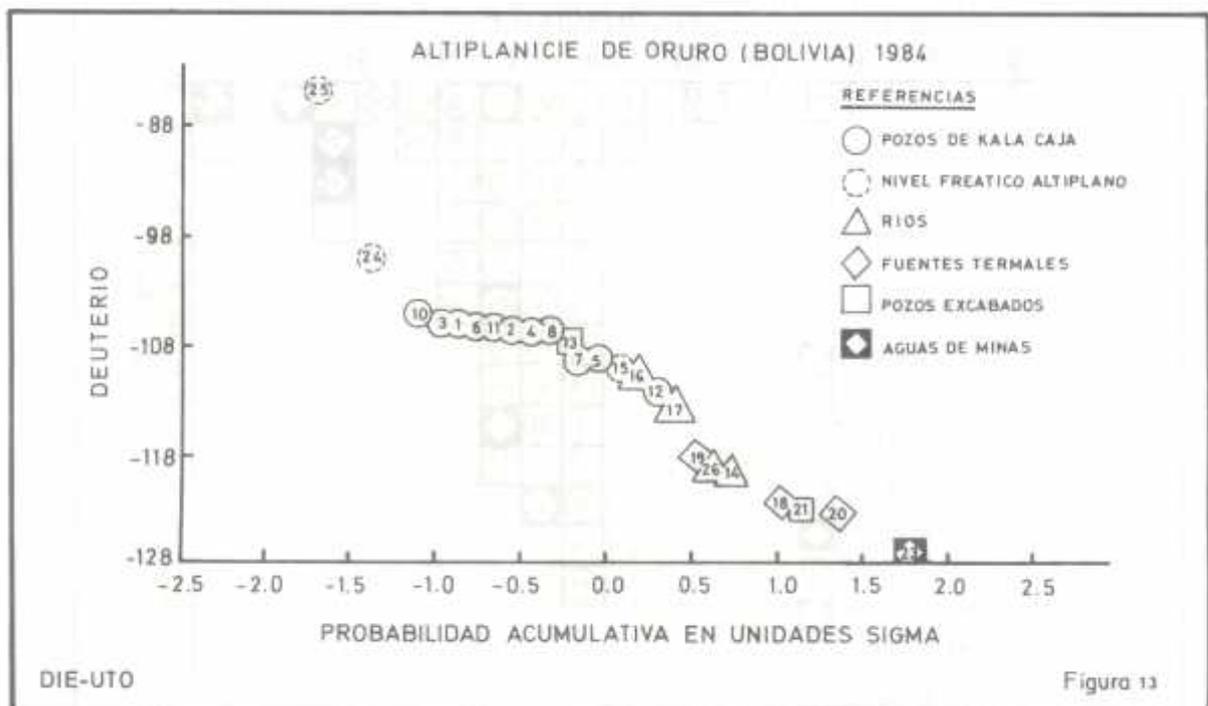


Fig. No 5.6 Familias de aguas- Probabilidad acumulativa en unidades Sigma

La siguiente figura No9.8 muestra una correlación entre Oxígeno 18 y Deuterio diagrama característico conocido como “RECTA METEÓRICA” donde la pendiente de las rectas y las ordenadas en el origen revelan el origen de las aguas si corresponden a aguas de lluvia, de evaporación o de intercambio geotermal.

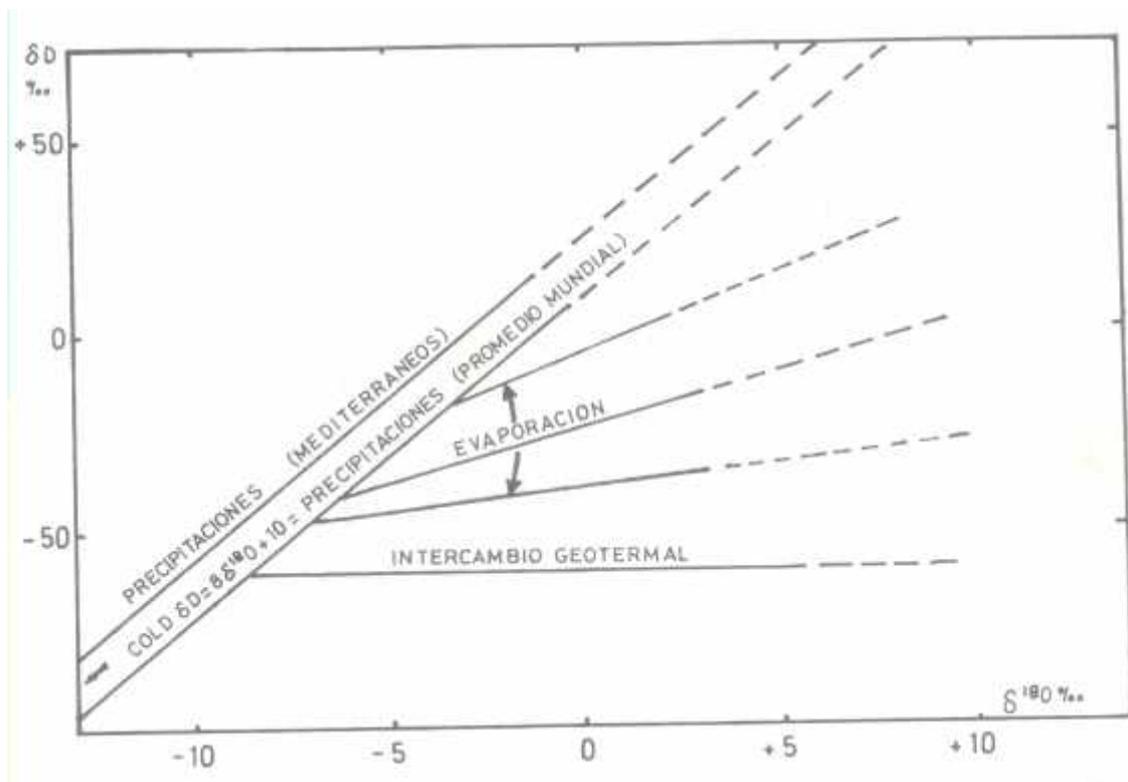


Fig. No 5.7 Recta meteórica promedio y rectas de evaporación originadas a partir de distintas composiciones isotópicas originales

Para el caso de los resultados de Oruro, se ha obtenido la figura No 9.9 donde se puede observar que:

- La mayoría de los puntos de agua subterránea del acuífero potable se forman según una línea de recta paralela a la línea meteórica mundial de aguas de lluvia. Donde ningún pozo presenta una característica de agua evaporada lo que significa que esas aguas no han sido sometidas a evaporación anterior previa a la infiltración, por tanto se puede concluir que las aguas que inundan las pampas de Oruro o las aguas de las crecidas de los ríos que llegan a la pampa NO PARTICIPAN DE LA RECARGA DE LOS ACUIFEROS y que se eliminan debido a su completa evaporación solar.
- Los puntos que corresponden a muestras de agua superficial, muestras del acuífero salado y de algunos pozos abiertos corresponden a líneas de evaporación local
- Las aguas termales corresponden a otra familia de aguas distinta a las anteriores, Considerando el efecto de la gradiente altimétrica como punto de origen, esta agua podrían tener su fuente de recarga a unos 1000 metros por encima de la altura de Oruro y su elevada temperatura se generaría en profundidad posiblemente por cercanías o contacto a un cuerpo igneo.
- LAS AGUAS DE MINA TIENEN DIFERENTE ORIGEN :i) infiltración de lluvia en los cerros San José, San Pedro y San Cristóbal ii) Infiltración de aguas del lago Uru Uru iii) Aguas de circulación profunda, una posible fuente de ingreso de aguas a la mina de San José puede existir a 25 km al Noreste de la ciudad de Oruro en las cercanías de Sillota y el Cerro Horputanga, sin embargo será necesario ampliar éste estudio para su confirmación

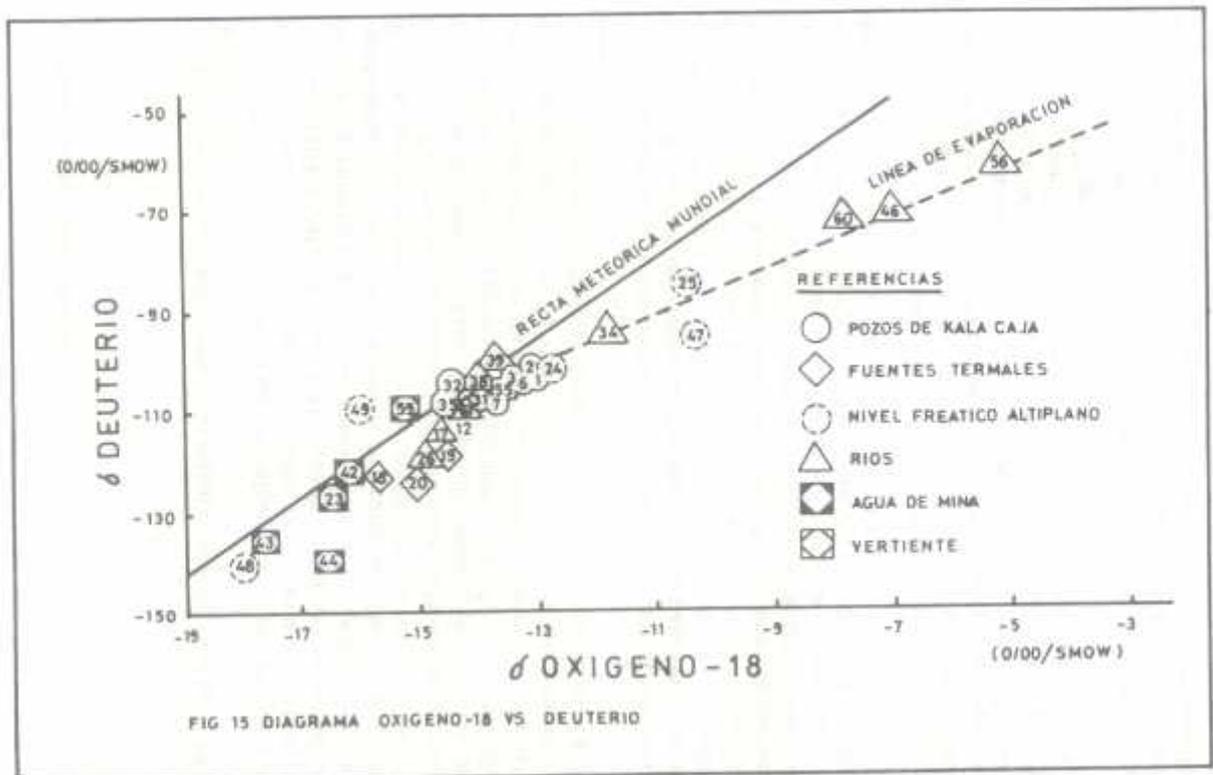


Fig. No 5.8 RECTA METEORICA para las aguas de la microcuenca de Oruro

Para determinar si el acuífero de Kala Caja es un acuífero fósil confinado o no y cuales son las posibles direcciones de flujo se utilizaron isótopos naturales radioactivos de Tritio y Carbono 13 y Carbono 14 porque estos disminuyen su actividad a medida que transcurre el tiempo por lo que se los considera como relojes atómicos.

El tiempo de semidesintegración del Tritio es de aproximadamente 12 años y el de Carbono 14 es de 5730 años.

Los resultados de los análisis en Tritio de las aguas de Kala Caja mostraron una actividad casi nula, es decir que esas aguas tienen un tiempo de residencia en el acuífero superior a 30 años.

La datación por Carbono 14 y su correlación con Carbono 13 que se muestra en la figura no 9.10 muestra que:

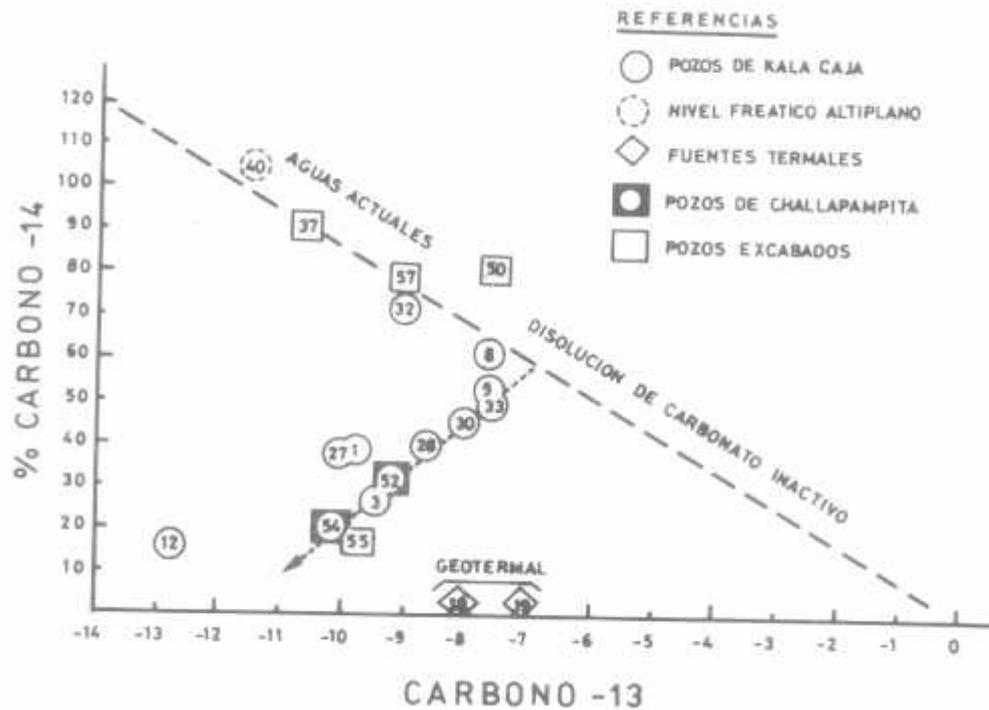


Fig. 5.9 Diagrama de correlación Carbono -14 Vs. Delta Carbono -13

- Hay un proceso de intercambio con el carbón inactivo durante la infiltración de las aguas en el acuífero de Kala Caja
- Las aguas de Kala Caja no son aguas fósiles, pero si muy antiguas cuyas edades varían de 1200 a 10000 años debido a que la velocidad promedio de circulación dentro del acuífero es del orden de UN METRO POR AÑO
- La dirección del flujo de las aguas en el acuífero potable es el que señala la figura 9.11

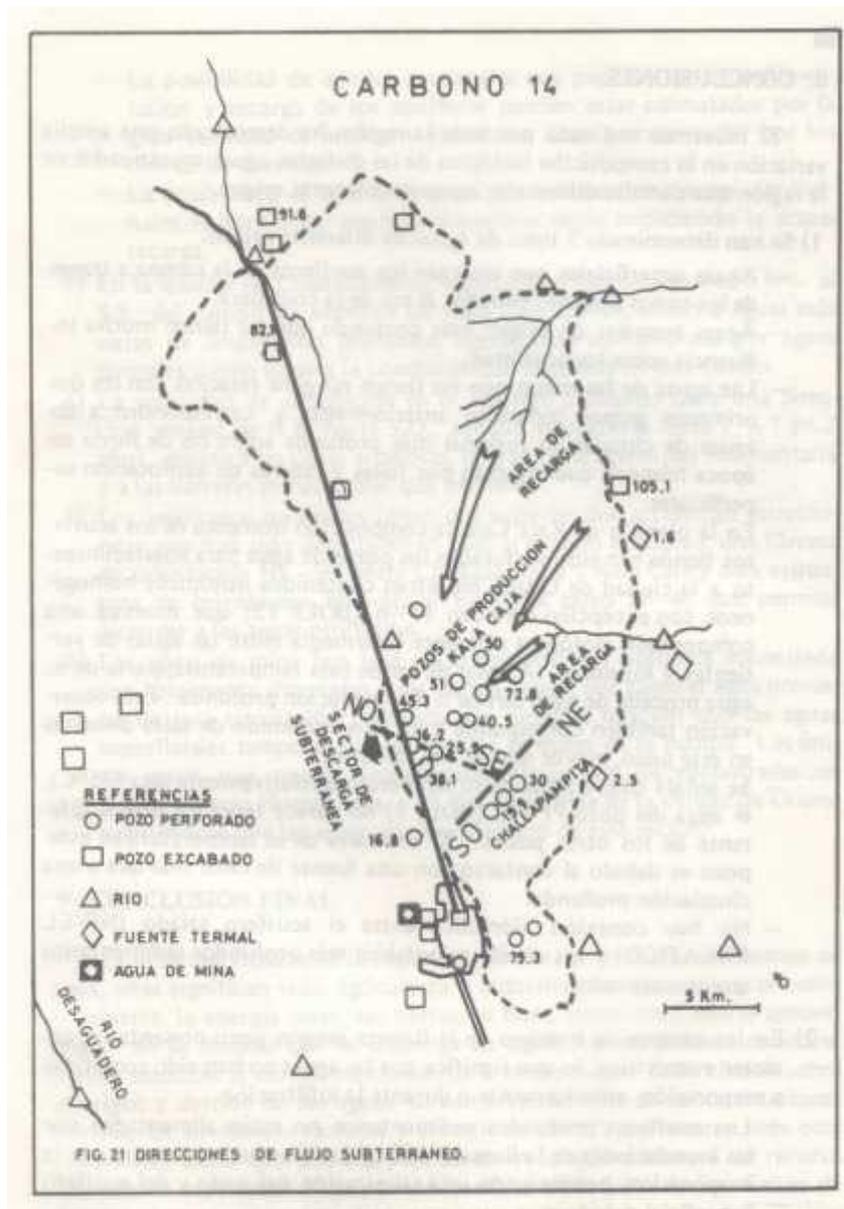


Fig. 5.10 Direcciones de flujo subterráneo en los acuíferos de Kala Caja y challapampa.

6 IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA S.I.G.

6.1 ANTECEDENTES SOBRE LA FALTA DE AGUA EN EL MUNDO

La próxima guerra... la guerra del agua

El agua brota como el mayor conflicto geopolítico del siglo XXI ya que se espera que en el año 2025, la demanda de este elemento tan necesario para la vida humana será un 56% superior que el suministro y quienes posean agua podrían ser blanco de un saqueo forzado. Se calcula que para los 6250 millones de habitantes a los que hemos llegado se necesitaría ya un 20% más de agua.

La pugna es entre quienes creen que el agua debe ser considerado un commodity o bien comerciable (como el trigo y el café) y quienes expresan que es un bien social relacionado con el derecho a la vida. Los alcances de la soberanía nacional y las herramientas legales son también parte de este combate.

Para comprender el problema, hay que considerar un rosario de datos basados en la extracción, distribución y consumo del agua - lo muestran la Biblia o el Corán- que poseen la edad del mundo; que han dado lugar a conflictos de gran magnitud. Lo nuevo del caso es que, desde hace una década, se acumulan las cifras que presagian que el planeta se encamina a una escasez cada vez más marcada.

El problema es que el agua es un recurso que se da sentado en muchos lugares, es muy escaso para los 1100 millones de personas que carecen de acceso al agua potable, a las que habría que sumar otros 2400 millones de personas que no tienen acceso a un saneamiento adecuado.

Más de 2200 millones de habitantes de los países subdesarrollados, la mayoría niños, mueren todos los años de enfermedades asociadas con la falta de agua potable, saneamiento adecuado e higiene. Además, casi la mitad de los habitantes de los países en desarrollo sufren enfermedades provocadas, directa o indirectamente, por el consumo de agua o alimentos contaminados, o por los organismos causantes de enfermedades que se desarrollan en el agua. Con suministros suficientes de agua potable y saneamiento adecuado, la incidencia de algunas enfermedades y la muerte podrían reducirse hasta un 75 por ciento.

En la mayoría de las regiones, el problema no es la falta de agua dulce potable sino, más bien, la mala gestión y distribución de los recursos hídricos y sus métodos. La mayor parte del agua dulce se utiliza para la agricultura, mientras que una cantidad sustancial se pierde en el proceso de riego. La mayoría de los sistemas de riego funcionan de manera ineficiente, por lo que se pierde aproximadamente el 60 por ciento del agua que se extrae, que se evapora o vuelve al cauce de los ríos o a los acuíferos subterráneos. Los métodos de riego ineficiente entraña sus propios riesgos para la salud: el anegamiento de algunas zonas de Asia Meridional es el determinante fundamental de la transmisión de la malaria, situación que se reitera en muchas otras partes del mundo.

Casi la mitad del agua de los sistemas de suministro de agua potable de los países en desarrollo se pierde por filtraciones, conexiones ilícitas y vandalismo. A medida que la población crece y

aumentan los ingresos se necesita más agua, que se transforma en un elemento esencial para el desarrollo.

La buena administración de este recurso natural en cualquier parte del mundo y en particular en el departamento de Oruro, pasa necesariamente con tener una buena información de lo que se tiene en cada región, además de saber las características físicas, químicas, y otras. Para este propósito es que para contar con una buena base de información se ha tomado la decisión de implementar la Teledetección y los SIG como herramientas científicas en la estructuración de la información.

6.2 TELEDETECCIÓN

6.2.1 Definición.- Es una disciplina científica que agrupa un conjunto de conocimientos y de técnicas utilizadas para la observación, el análisis, la interpretación y la gestión de la investigación a partir de mensuras de imágenes obtenidas con la ayuda de plataformas aeroportuarias, espaciales, terrestres o marinas; sin entrar en contacto con el objeto detectado

La teledetección, que significa el tratamiento y análisis de imágenes satelitales, permite entre muchas cosas, realizar un monitoreo de superficies terrestres a través del tiempo, y también realizar clasificaciones de materiales en función a las propiedades radio métricas que tiene cada cuerpo.

Al encontrarse las imágenes satelitales georeferenciadas se puede también realizar planificaciones de trabajos de campo, como por ejemplo los puntos de toma de muestras entre otras actividades.

6.2 SIG. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA

6.2.1 Definición.- Un S.I.G. es el material, el programa y los procesos, contruidos para la captura, la gestión, la visualización, el tratamiento, el análisis y la modelización de datos georeferenciados en el espacio; los cuales son destinados a resolver problemas ligados a la investigación, la planificación y la gestión de la información.

La utilidad de un SIG en muchas áreas de la investigación se ha hecho necesario ya que permite realizar varias cosas como:

- Manejo de datos geoespaciales
- Revisión y actualización de datos con mayor facilidad
- Mayor facilidad de búsqueda, análisis y representación de datos sobre planos
- Intercambio libre de datos geoespaciales
- Ahorro de tiempo y dinero
- Toma de mejores decisiones

También un SIG posee funciones básicas como el de responder a preguntas:

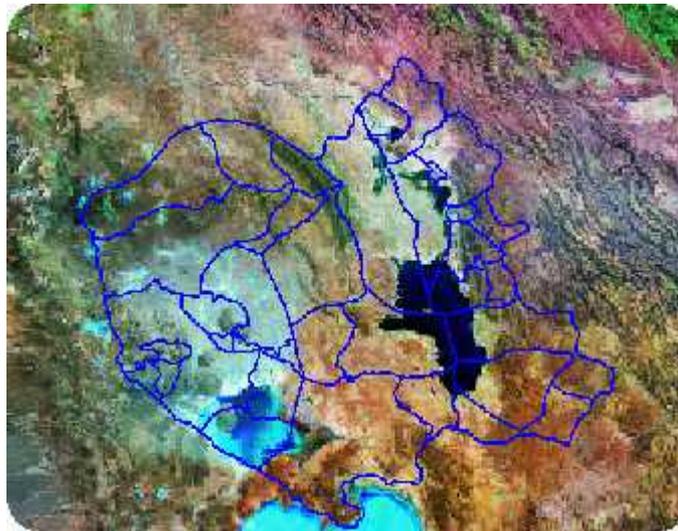
- **¿Qué hay en....?** (Pregunta de ubicación: que es lo que existe en una determinada ubicación)
- **¿Dónde esta.....?** (Pregunta condicional: que ubicaciones satisfacen ciertas condiciones)

- **¿Como ha cambiado....?** (Pregunta de tendencia: identifica la ocurrencia geográfica o las tendencias que han cambiado o que se encuentran en proceso de cambio)
- **¿Qué datos están relacionados....?** (Pregunta relacional: analiza la relación espacial entre objetos de características geográficas)
- **¿Qué pasa si....?** (Pregunta basada en el modelo: calcula y exhibe un camino óptimo, un terreno adecuado, un área de riesgo, etc. Basado en un modelo)

6.3 LA TELEDETECCIÓN Y LOS SIG EN CLASIFICACIÓN DE LOS CUERPOS DE AGUA SUBTERRÁNEA DEL DEPARTAMENTO DE ORURO

La metodología de trabajo de la clasificación de cuerpos de agua subterráneos en el departamento de Oruro esta dividido en cuatro partes.

- 1.-) Compilación selectiva de información disponible teórica como gráfica, además de una base de datos de diferentes temas relacionados con el estudio de la localización de puntos de perforación en la ubicación de aguas subterráneas con una base de datos por cada punto y una metadata
- 2.-) Trabajo de campo dedicado a toma de muestras de aguas subterráneas debidamente georeferenciadas (Proyección UTM y DATUM WGS-84)
- 3.) Procesamiento de los datos según los informes de laboratorio e información histórica adicional para la implementación de un Sistema de Información Geográfica (ArcView 3.2)
- 4.-) Elaboración de mapas temáticos
- 5.-) Análisis y conclusiones de los resultados



La imagen de tipo SID muestra el departamento de Oruro y sus límites

De acuerdo al cronograma planteado se cuenta con el siguiente material e información:

Clasificación de Cuerpos de Agua Subterránea – Departamento de Oruro

Material:

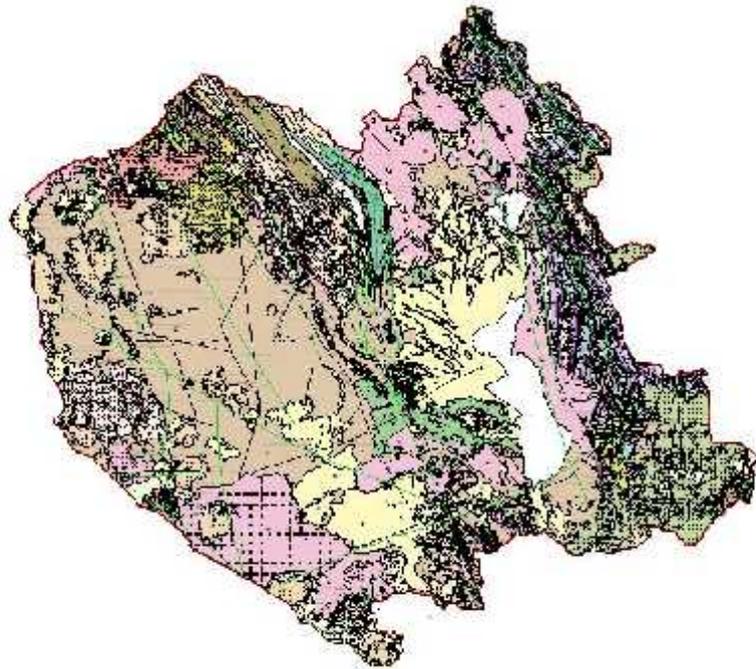
- Imagen satelital Landsat en formato digital de toda la zona de estudio
- Plano geológico en formato digital de toda la zona de estudio
- Plano de yacimientos mineros metálicos y no metálicos en formato digital de toda la zona de estudio
- Plano hidrológico en formato digital de toda la zona de estudio
- Plano topográfico en formato digital de toda la zona de estudio
- Información de perforaciones de pozos ejecutados por ASVI – JICA
- Información de datos meteorológicos de algunas estaciones
- Información de los resultados de los análisis físico químicos realizados en el presente proyecto
- Mapas temáticos

6.4 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

A través de la información digital se pudo visualizar y hacer uso de mapas temáticos como por ejemplo: plano geológico, yacimientos minerales metálicos y no metálicos, hidrológico, topográfico, localización geográfica de los pozos perforados, plano de isovalores de precipitaciones pluviales.

El proceso de implementar un SIG ha permitido estructurar la información recopilada y la generada dentro una base de datos que a su vez permite generar mapas temáticos como los siguientes

Para el presente proyecto se cuenta con mapas preliminares como los siguientes:



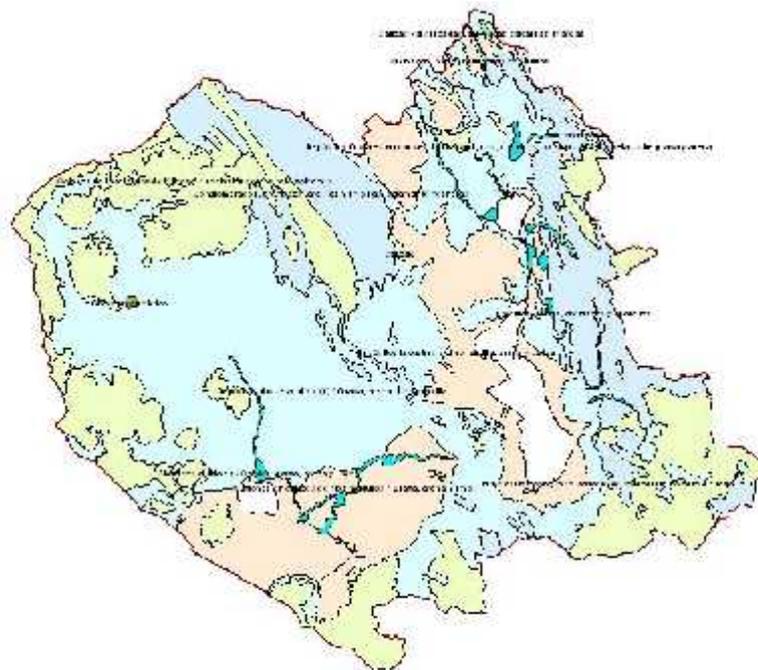
Mapa Geológico del Departamento de Oruro



Imagen Satelital Landsat del departamento de Oruro

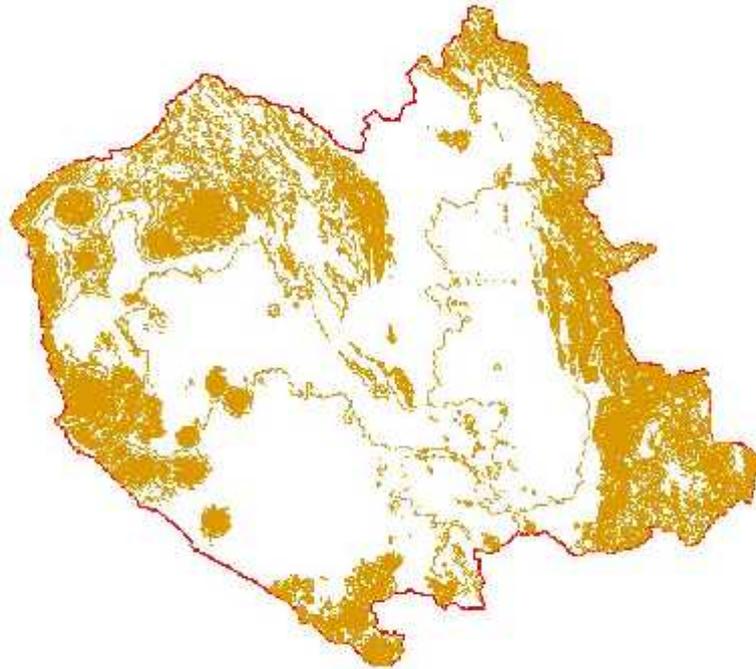


Mapa de Municipios del Departamento de Oruro



Mapa de Unidades Hidrogeológicas departamento de Oruro

Clasificación de Cuerpos de Agua Subterránea – Departamento de Oruro



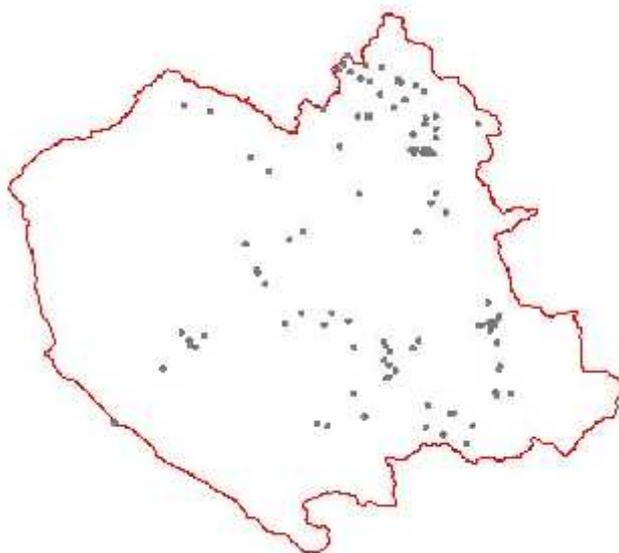
Mapa Topográfico departamento de Oruro

6.4 IMPLEMENTACION DE INFORMACION HISTORICA

Los trabajos de estudios de aguas subterráneas en el departamento de Oruro no son muchos y por esta razón el conocimiento de este recurso natural es superficial; uno de los trabajos mejor realizados son los que lleva adelante la prefectura de Oruro mediante un convenio con el Japón a través de Jica, en el que durante varios años se realizaron perforaciones para extracción de agua subterránea con bombas sumergibles en su mayoría, por otro lado se tiene también información de resultados de análisis físico – químico de laboratorio de las aguas subterráneas, además de otra información de cada uno de los puntos de perforación.

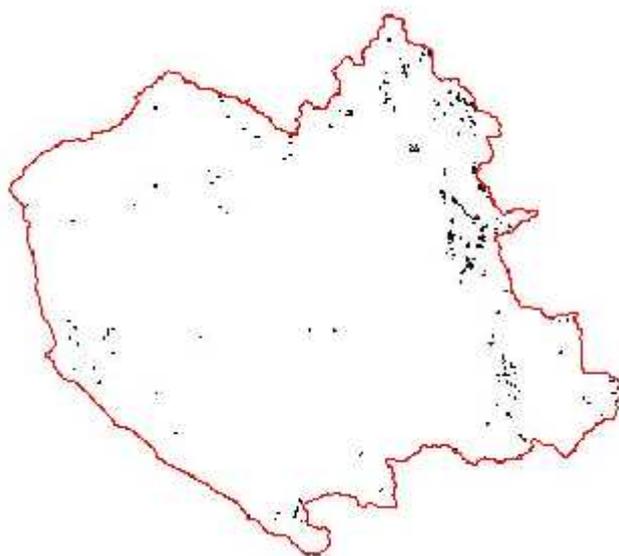
Toda la información generada por los trabajos de Jica lamentablemente no se encuentra sistematizada y organizada; con el objetivo de que cambie esta situación en el presente proyecto se tomó la decisión de manejar toda la información en un Sistema de Información Geográfica que se adecua también para el propósito final que tiene el Proyecto de Clasificación de los Cuerpos de Aguas Subterráneas.

Luego de generar una base de datos con las dos informaciones tanto del propio proyecto y la de Jica, se ha podido elaborar en primera instancia varios mapas como se puede apreciar



Mapa de ubicación de puntos de perforación para aguas subterráneas
Proyecto Jica

Las aguas subterráneas son susceptibles a sufrir contaminación minera, especialmente las que se encuentran en zonas aledañas a yacimientos mineros que hayan sido o que son explotados, elementos químicos que se encuentran en los desechos mineros son transportados especialmente por aguas superficiales hasta donde se encuentran las aguas subterráneas y de esta manera las aguas son contaminadas.



Mapa de ubicación de yacimientos mineros

Con la información que se cuenta y utilizando las diferentes herramientas que tiene un SIG se ha podido obtener mapas preliminares de clasificación de cuerpos de agua subterráneas, la figura 6.1 muestra un mapa de zonas con agua subterránea que de acuerdo a los resultados de los análisis físico-químico son aguas que pueden ser consumidas por las personas de manera directa, dicho de otra manera son aguas de buena calidad para consumo humano.

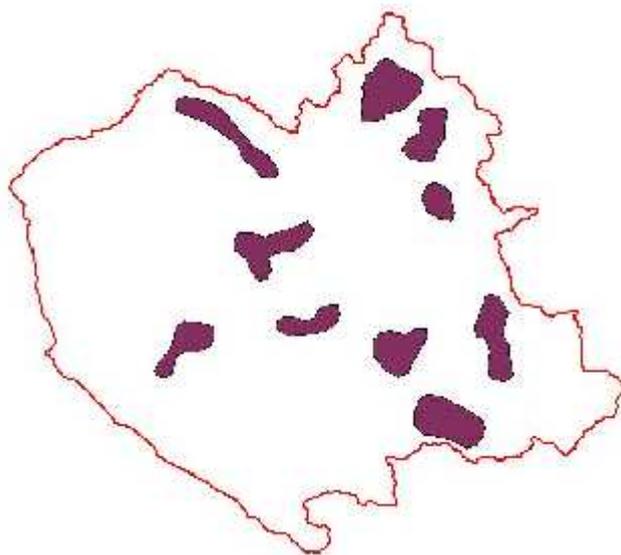


Fig. 6.1 Mapa de zonas de cuerpos de agua de consumo directo

Otro mapa que se pudo generar es el que se muestra en la figura 6.2 en el que se puede identificar las zonas de un caudal muy importante que pueden ser considerados como pozos con aguas de caudales industriales.

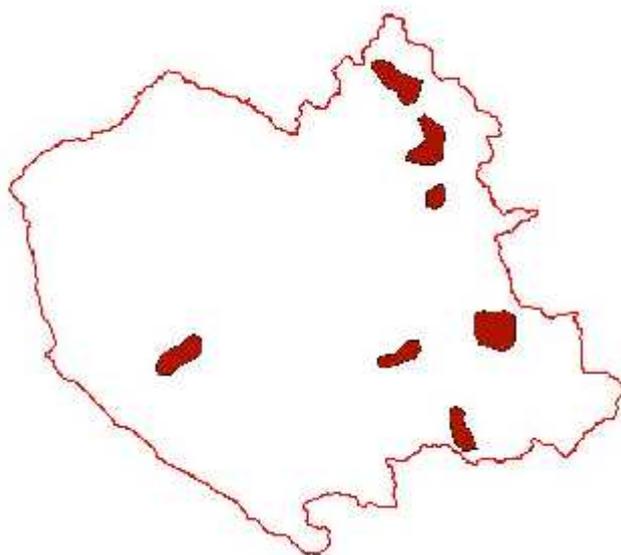
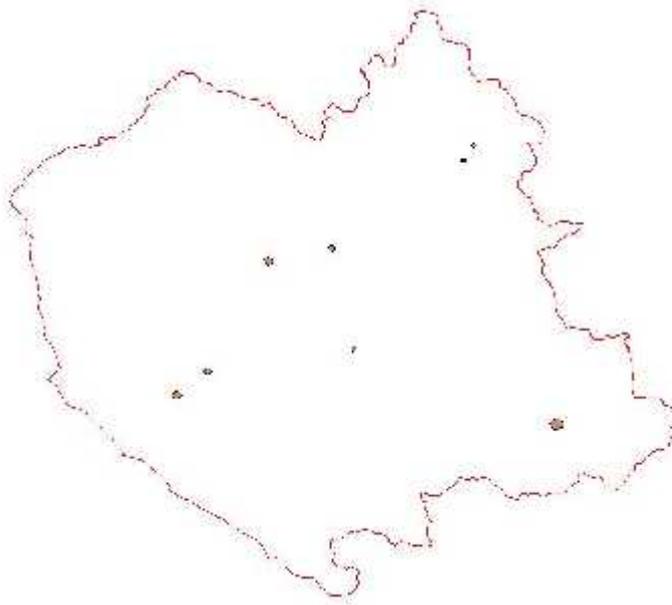


Fig. 6.2 Mapa de zonas de cuerpos de agua con caudales industriales

Otro aspecto sin duda muy importante es la profundidad a la que se encuentran las aguas subterráneas pudiendo ser de acuerdo a una clasificación acordada, hasta una profundidad de 30 metros se considera como pozo superficial, si la profundidad de un pozo se encuentra de 30 a 60 metros, este pozo es considerado como un pozo semiprofundo, y si la profundidad esta por un valor mayor de 60 metros, el pozo se clasifica como de profundidad. De acuerdo a esta clasificación de profundidad y utilizando el SIG se pudo obtener los siguientes mapas.

La figura 6.3 muestra un mapa de zonas de aguas subterráneas con profundidades superficiales, llamado también pozos superficiales.



6.3 Mapa de zonas de cuerpos de agua superficiales

Cabe hacer notar que este mapa es solamente con los datos de los trabajos de Jica, ya que la información real es que el agua subterránea que se encuentra a una profundidad de menos de 30 metros se halla casi en todo el departamento de Oruro especialmente en la zona del Altiplano (zona central del departamento). Este aspecto se puede evidenciar con los datos del proyecto **“Clasificación de Cuerpos de Aguas Subterráneas en el Departamento de Oruro”** que se llevo adelante los años 2008 y 2009, donde en todos los puntos de muestreo el agua se encontraba a menos de 15 metros de profundidad, el problema que presentan estas aguas es que generalmente los caudales y el volumen son bajos, estos puntos de muestreo se los puede apreciar en el mapa de la figura 6.4

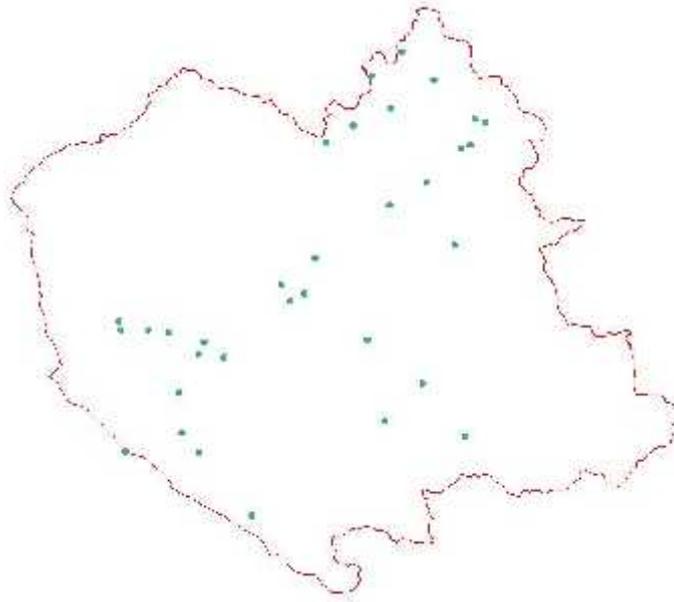


Fig. 6.4 Mapa de ubicación de puntos de muestreo “Proyecto Clasificación de Cuerpos de Aguas Subterráneas Departamento de Oruro”

Los pozos con aguas subterráneas que se encuentran entre profundidades de 30 a 60 metros, de acuerdo a los datos de los trabajos de Jica constituyen un gran porcentaje, y de acuerdo a este aspecto se pudo generar zonas con esta característica dentro un Sistema de Información Geográfica que se puede apreciar en el siguiente mapa (Fig. 6.5)

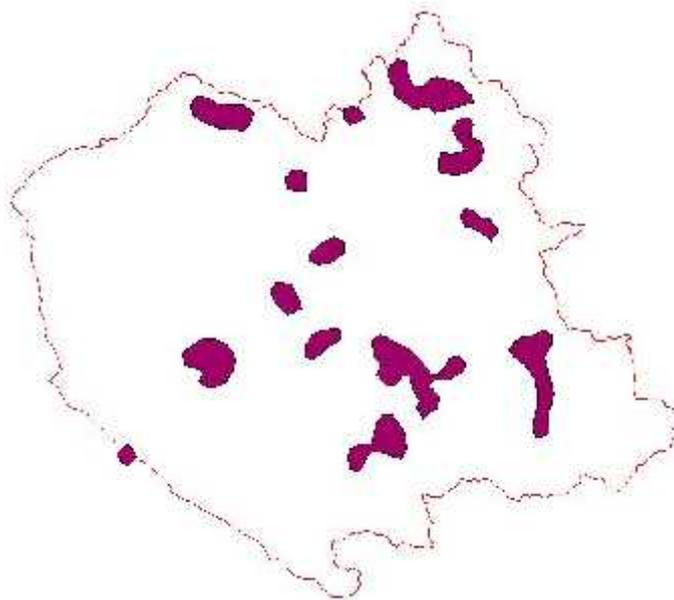


Fig. 6.5 Mapa de zonas de cuerpos de agua semiprofundos

Finalmente, las aguas subterráneas que se hallan a profundidades superiores a los 60 metros y que son considerados como pozos profundos se pueden apreciar en la figura siguiente (Fig. 6.6), además de ser zonificado en un SIG con esta característica.

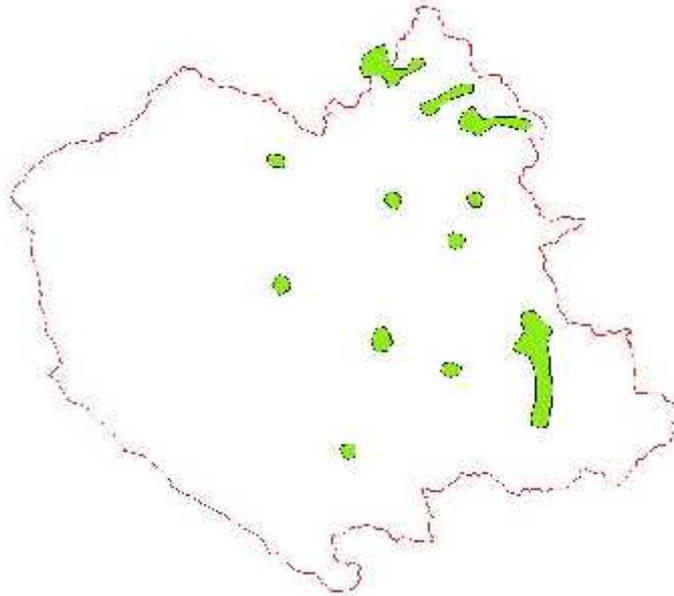


Fig. 6.6 Mapa de zonas de cuerpos de agua profundos

6.5 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION GENERADA POR EL PROYECTO “CLASIFICACIÓN DE CUERPOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL DEPARTAMENTO DE ORURO”

El presupuesto designado para el proyecto, si bien no es poco, pero para encarar proyectos de este tipo como el de realizar estudios de aguas subterráneas en todo un departamento es muy insignificante, ya que trabajos como de prospección geofísica y de perforación de pozos significa contar con recursos económicos muy elevados; de todas maneras se realizó un trabajo entre otros, como el de recoger muestras de aguas en diferentes puntos del departamento de Oruro, debidamente georeferenciadas, luego se procedió a generar una base de datos utilizando para esto un Sistema de Información Geográfica, que nos permite alimentar la base de datos que se elaboró con los datos que generó el Proyecto Jica. El presupuesto no fue ejecutado en su totalidad ya que la cantidad de muestras programadas no fueron realizadas por causas de disponibilidad de movilidad de parte de la Universidad Técnica de Oruro y otros aspectos, de todas maneras se logró el propósito de contar con una buena cantidad de muestras acudiendo para esto a los datos que se tenía del proyecto Jica.

Toda la información, tanto la generada como la recopilada se encuentra en formato digital, mediante el cual y utilizando programas especializados como ENVI y Arc View, se procesó los datos para generar mapas temáticos.

Dentro de este contexto se logró elaborar diferentes mapas temáticos para luego contrastarlos con los generados anteriormente. Inicialmente se tiene un mapa de ubicación de los puntos de

muestreo de las aguas subterráneas (fig. 6.7), tratando de cubrir la extensión del departamento de Oruro.

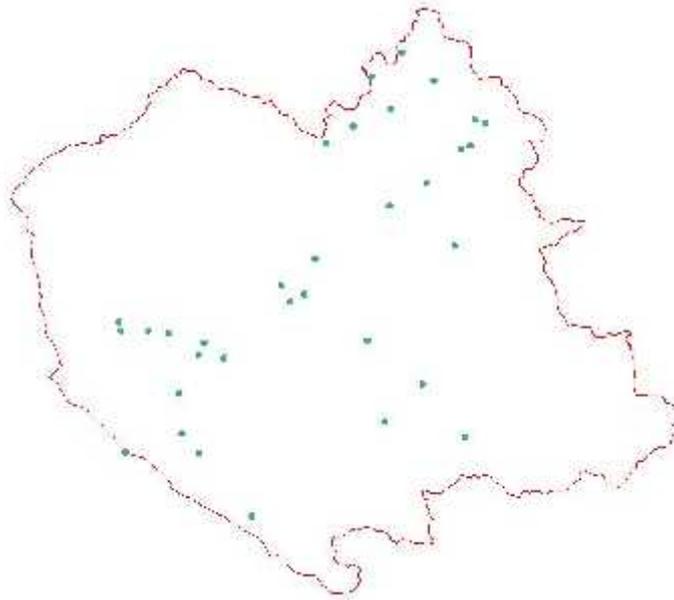


Fig. 6.7 Mapa de ubicación de puntos de muestreo “Proyecto Clasificación de Cuerpos de Aguas Subterráneas Departamento de Oruro”

Casi en todos los casos el agua de estos pozos se utiliza para consumo humano, pero existen algunos que se utiliza también como abrevadero, siendo la profundidad menor a 15 metros son considerados como pozos superficiales realizados de manera artesanal.

Un problema no muy importante son los contenidos de sales que se encuentran en las aguas, debido fundamentalmente a que estas aguas se hallan alojadas en sedimentos de material cuaternario, y también por la proximidad a rocas de origen ígneo y depósitos de minerales metálicos (Fig. 6.8).

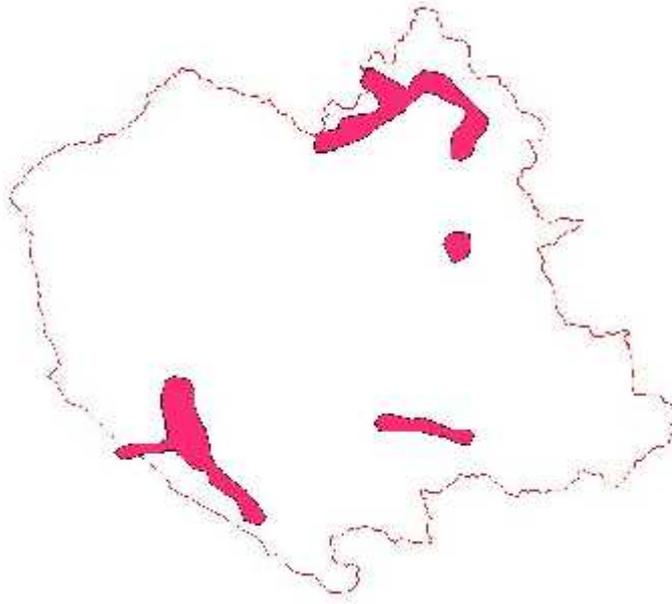


Fig. 6.8 Mapa zonas de cuerpos de aguas con cierto contenido de sales

6.6. ANALISIS Y PROCESAMIENTO DE INFORMACION CRUZADA

Los resultados de laboratorio fueron introducidos en una base de datos el cual luego de un proceso utilizando programas ya mencionados se logró obtener mapas inéditos referente a las características de las aguas subterráneas

De acuerdo a la información y los mapas generados utilizando el SIG, se ha podido realizar una clasificación de cuerpos de agua tomando en cuenta tres variables principales: La profundidad, el caudal y la calidad de las aguas subterráneas.

Aguas subterráneas profundas, caudal bajo y de mala calidad = Cuerpos de agua poco optimas

Aguas subterráneas semiprofundas, caudal regular y calidad aceptable = Cuerpos de agua regularmente optimas

Aguas subterráneas superficiales, buen caudal y buena calidad = Cuerpos de agua optima

Aguas subterráneas semiprofundas, buen caudal y calidad buena = Cuerpos de agua optimas

La primera clasificación de los cuerpos de agua subterránea corresponde a cuerpos de agua poco optimas (Fig. 6.9), aguas subterráneas profundas, caudal bajo y de mala calidad = Cuerpo de agua poco optimas

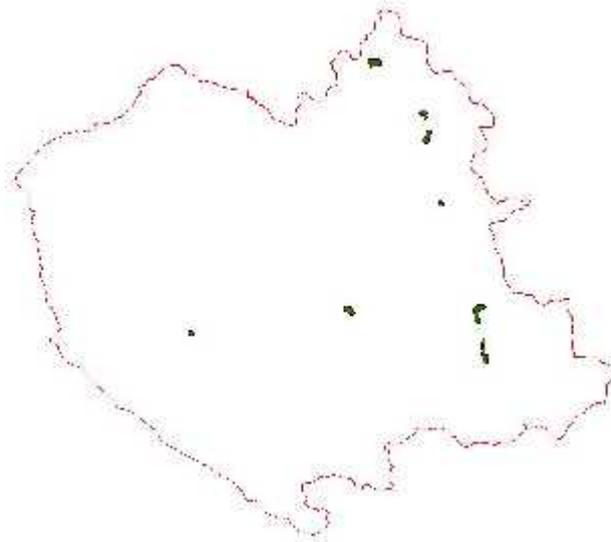


Fig. 6.9 Cuerpos de agua subterráneos poco optimas

Otra clasificación de los cuerpos de agua que se puede considerar como regularmente óptimas (Fig. 6.10), se pudo lograr con la información de la base de datos, aguas subterráneas semiprofundas, caudal regular y calidad aceptable = Cuerpos de agua regularmente optimas

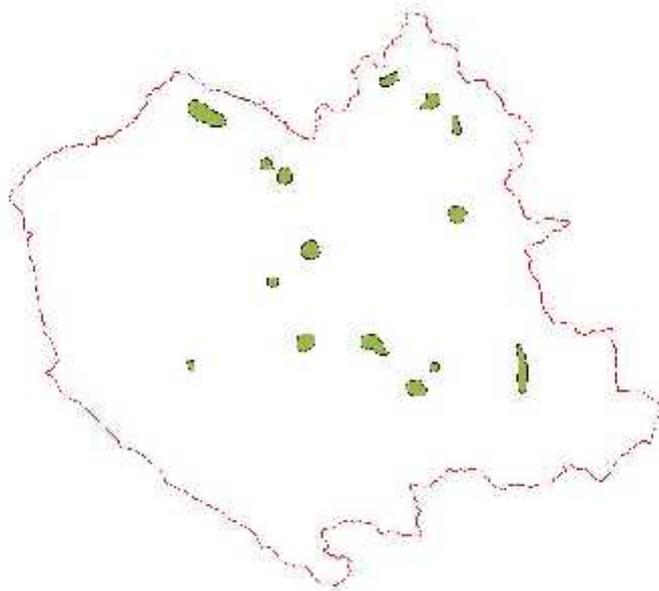


Fig. 6.10 Cuerpo de agua regularmente optima

Finalmente otra clasificación de los cuerpos de agua subterránea, corresponde a los considerados como óptimas, aguas subterráneas semiprofundas, buen caudal y calidad buena = Cuerpos de agua optimas (Fig. 6.11)

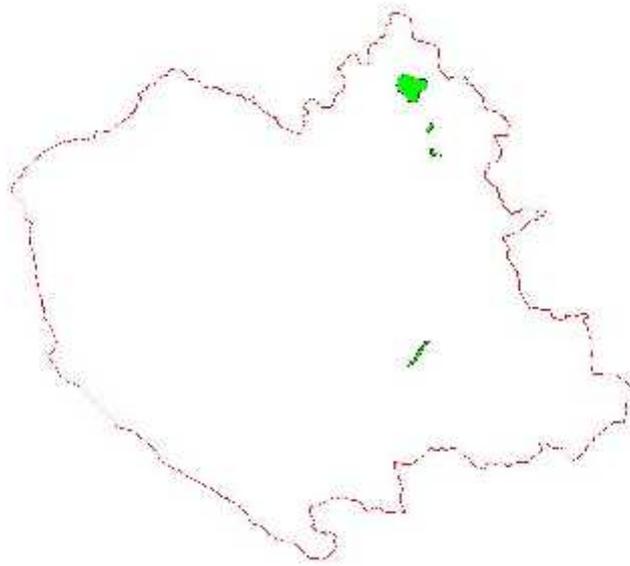


Fig. 6.11 Cuerpos de agua óptima

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

El trabajo de investigación desarrollado luego de algunas dificultades que se presentaron, fue concluido de forma satisfactoria, ya que se pudo lograr alcanzar las metas trazadas y los objetivos cumplidos, porque ahora se tiene una clasificación de cuerpos de agua subterránea que seguramente podrá dar mejores luces en cuanto a la demanda de agua que día que pasa se hace más crítica.

La base de datos generada y la elaboración de los diferentes mapas temáticos que se logró pueden mostrarnos de manera muy objetiva cual es el panorama de las aguas subterráneas que ahora pueden ser considerados como cuerpos de agua, caracterizados bajo ciertas variables como los de profundidades superficiales, semiprofundas y profundas; caudales bajos, medios y altos; calidad en base a los resultados de laboratorio como mala, regular y buena.

La información esta abierta para que más información ya sea histórica o por generarse, se pueda añadir a la existente y mejorar mucho más la concepción de los que significa las características de las aguas subterráneas.

Con los resultados del presente proyecto, se puede encarar de mejor manera la falta del líquido elemento que se siente día a día, mejorar la administración, y gestión de las aguas que se encuentran en el subsuelo.

Los trabajos posteriores, luego de implementar sistemas para uso de aguas, serán para beneficiar a toda la comunidad del departamento de Oruro, porque tendrán la información que se generó en le presente proyecto.

7.2 RECOMENDACIONES

Si bien el proyecto no cubre todas las expectativas de manera óptima, porque en el tema de análisis a través de muestreo nunca es suficiente la cantidad de muestras, ha podido mostrar y clasificar los cuerpos de agua subterránea; si embargo es recomendable por el hecho mencionado que se tiene que continuar con mas trabajos de geofísica, muestreo mediante perforaciones y análisis fisico quimico de las aguas para mejorar mucho mas la idea de lo que significa los cuerpos de agua que se encuentran bajo el suelo del territorio del departamento de Oruro.

BIBLIOGRAFIA

(AIGACAA), Autoridad Binacional del Lago Titicaca (ALT), Gerencia del Proyecto de Biodiversidad. La Paz – Bolivia 177 p.

Ergueta P. & Salazar J. 1991 “Fauna Silvestre de Bolivia” Instituto Geográfico Militar de La Paz – Bolivia p. 4 – 98

Gonzales Marta & García Diego, 1998. Restauración de ríos y Riberas. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Ediciones Mundi – Prensa, Madrid España, p 15 – 65

Magne Julio Cesar, Apuntes del Curso de Diplomado en SIG

Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Secretaría Nacional de Minería. Proyecto Piloto Oruro. 1996. Impacto de la Minería y el Procesamiento de Minerales en Recursos del Agua y Lagos. Swedish Geological AB 120 p.

Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, 1992 “Ley del Medio Ambiente Nro 1333”. La Paz – Bolivia. p.

ANEXOS

- Se adjunta un CD con la Geodatabase y mapas realizados con el programa Arc View 3.2
- Se adjunta los informes de Laboratorio Spectrolab
- Se adjunta fotografías del trabajo de campo
- Se adjunta presentación de la I Jornada Científica y Tecnológica de la UTO
- Se adjunta mapas temáticos

INDICE

1. INTRODUCCION	2
1.1 Localización	3
1.2 Clima	5
1.3 Geología	6
1.4 Vegetación	8
1.5 Cuencas y subcuencas	9
2 INFRAESTRUCTURA	11
3. SERVICIOS BASICOS	13
4 ASPECTOS SOCIO ECONOMICOS	14
5 RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIALES	21
6 IMPLEMENTACION DE UN SIG	45
7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
ANEXOS	



Fotografía 1 Medición de parámetros físico-químicos de aguas



Fotografía 2 Toma de muestra de agua



Fotografía 3 Toma de muestra de agua



Fotografía 4 Toma de muestra de agua



Fotografía 5 Toma de muestra de agua, punto georeferenciado



Fotografía 6 Toma de muestra de agua

