PN-ACD-191
98667

EVALUACION DE LOS RECURSOS HIDRICOS DEL CANTON SAN JOSE LLANGA
(Provincia Aroma del Departamento de La Paz)

Oscar L Peña y Anne Coudrain-Ribstein

IBTA 150/BOLETIN TECNICO 18/SR-CRSP 12/1995

USAID PROGRAMA DE APOYO A LA INVESTIGACION COLABORATIVA EN RUMIANTES MENORES

Small Ruminant Collaborative Research Support Program
(SR-CRSP)

CONVENIO MACA/IBTA/USAID/SR-CRSP

Agosto de 1995

Agradecimientos

El Programa de Apoyo a la Investigacion Colaborativa en Rumiantes Menores (USAID Small Ruminant Collaborative Research Support Program) es una colaboración entre la Agencia Internacional de Desarrollo del Gobierno de los Estados Unidos (USAID), Washington, D C (Grant número 138-G-00-0046-00) y el Instituto Boliviano de Tecnologia Agropecuaria (IBTA) dependiente de la Secretaria Nacional de Ganaderia del Ministerio de Desarrollo Económico El Programa IBTA/SR-CRSP cuenta con el apoyo financiero del Programa PL-480 de la Mision USAID/Bolivia

Esta publicacion es el resumen de la tesis de grado preparada por el Ing Oscar L Peña Los autores expresan sus agradecimientos a las personas e instituciones que de una u otra forma hicieron posible el presente trabajo al personal de Servicio National de Meterorología e Hidrología (SENAMHI), al Dr Morty Ortega (Texas Tech University, Lubbock, Texas), a los Drs José Luís Montano y Vladamir Orza (UMSA La Paz) y a todo el personal del Programa IBTA/SR-CRSP

También se agradece la cooperación brindada por las familias y las autoridades de la Comunidad de San José Llanga, Provincia Aroma de Departamento de La Paz, que ha hecho posible este trabajo y los logros del Programa IBTA/SR-CRSP

Oscar L Peña
Anne Coudrain-Ribstein

La Paz
Agosto 1995

Indice de Contenidos

	Página
Listado de Cuadros	iv
Listado de Figuras	v
Introduccion	1
Revisión Bibliografica	2
Materiales y Métodos	3
Area del estudio	3
Datos de registros pluviométricos	5
Material de campo y gabinete	5
Metodología	5
Results and Discusión	11
Recursos hídricos superficiales	11
Recursos hídricos subsuperficiales	23
Conclusiones	32
Recursos hídricos superficiales	32
Recursos hídricos subsuperficiales	33
Recomendaciones	34
Recursos hídricos superficiales	34
Recursos hidricos subsuperficiales	34
Bibliografía	35

Listado de Cuadros

		Página
1	Precipitacion mensual estimada de San José Llanga (1957-1993)	16
2	Precipitaciones mensuales (mm) con probabilidad de excedencia de 60 y 80% calculadas mediante la distribución normal para el período vegetativo (octubre-abril) para San José Llanga, Provincia Aroma, Departamento de La Paz	17
3	Caudales medios diarios del Rio Khora Jahuira y precipitaciones diaria en San Jose Llanga, Provincia Aroma, Departamento de La Paz	18
4	Caudales, distancia hasta la boca toma y eficiencia de conducción de los puntos aforados en el canal de riego principal K'ala Umana	20
5	Balance hídrico de San Jose Llanga para el período 1960-1993	21
6	Balance hídrico de San Jose Llanga para el período de estudio (agosto de 1992-julio 1993)	21

Listado de Figuras

		Página
1	Area de estudio, Canton San José Llanga, Provincia Aroma, Departamento de La Paz	4
2	Hidrografia del Cantón San Jose Llanga, Provincia Aroma, Departamento de La Paz	6
3	Parámetros evaluados del agua subsuperficial del Canton San José Llanga	8
4	Puntos de observación principales del agua subsuperficial del Cantón San José Llanga	9
5	Prueba de recorrido para los datos pluviometricos de la estación meteorologica Patacamaya período 1951-1992	12
6	Prueba de recorrido para los datos pluviométricos de la estación Sica Sica período 1951-1992	12
7	Curva doble acumulada de las estaciones Patacamaya y El Alto período 1946-1990	13
8	Curva doble acumulada de las estaciones Sica Sica y El Alto período 1944-1990	13
9	Curva doble acumulada de las estaciones Patacamaya y Oruro período 1960-1990	13
10	Curva doble acumulada de las estaciones Sica Sica y Oruro período 1943-1990	13
11	Curva doble acumulada Patacamaya - Sica Sica período 1990-1957	15
12	Aforos realizados sobre el canal de riego K'ala Umaña	19
13	Balance hídrico para San José Llanga, con probabilidad del 80% (4 de cada 5 años)	22
14	Balance hídrico para San José Llanga, período de estudio agosto de 1992 a julio de 1993	22
15	Mapa geológico del Cantón San Jose Llanga, elaborado en base a estudio hidrogeológico de Gumiel (1988)	24

Listado de Figuras (continuación)

		Página
16	Mapa de isolineas de profundidad del nivel de saturación del Canton San José Llanga Las lineas representan la profundidad en metros respecto a la superficie de la capa de saturacion	26
17	Mapa de isopiezas del agua subsuperficial del Cantón San José Llanga Las lineas representan la altura sobre el nivel del mar en metros Las flechas representan las líneas de corriente	28
18	Mapa de conductividad eléctrica del agua subsuperficial del Canton San José Llanga Las lineas representan las isolineas de conductividad eléctrica del agua en mS/cm	29
19	Mapa de calidad del agua subsuperficial del Cantón San Jose Llanga para uso en riego segun Ayers y Westcot (1987)	31

Evaluación de los Recurso Hídricos del Cantón San José Llanga (Provincia Aroma del Departamento de La Paz)

Oscar L Peña y Anne Coudrain-Ribstein [1/]

Introducción

El Cantón San José Llanga, situado en el Altiplano Central de Bolivia, desarrolla una agricultura predominantemente a secano Sus principales cultivos agrícolas son papa, quinua, cebada y avena Se cultiva además alfalfa en los márgenes del río estacional Khora Jahuira y bajo riego con aguas del Río Desaguadero, mediante un canal de regadío construido en 1984

Es una zona agrícola-ganadera que cuenta con recursos hídricos superficiales y subsuperficiales El objetivo del presente estudio consistió en la evaluacion de estos recursos hídricos El trabajo comprendió la medición de la precipitación en San José Llanga, aforos a molinete del Rio Khora Jahuira y del canal de riego K'ala Umaña También se medieron los niveles freáticos y la profundidad en pozos y se obtuvieron muestras de agua para su respectiva caracterización fisico-quimica

La primera parte del estudio comprende los recursos hídricos superficiales precipitación, escurrimiento, balance hidrico y calidad para uso en riego La segunda parte se refiere al recurso hidrico subsuperficial que incluye la elaboración de mapas de isopiezas, de profundidad del suelo saturado, de conductividad eléctrica del agua y calidad para uso en riego

El objetivo general del estudio fue evaluar los recursos hídricos con los que cuenta el Cantón San José Llanga Los objetivos específicos fueron

- Estimar la precipitacion en San José Llanga en base a datos de estaciones pluviométricas cercanas y calcular la precipitación con probabilidad de excedencia de 60 y 80%,
- Evaluar el caudal y la calidad para uso en riego de las aguas del Río Khora Jahuira y la relación entre el caudal que escurre y la precipitación medida en San José Llanga,
- Determinar la eficiencia de conducción del canal de riego K'ala Umaña y evaluar la calidad para uso en riego de las aguas que conduce, y
- Zonificar el recurso hídrico subsuperficial de acuerdo a su calidad para uso en riego e identificar las zonas de recarga y las líneas de corriente

---

1/ Respectivamente Ingeniero Agronomo y anteriormente becario del Programa IBTA/SR-CRSP y Investigador, Centro Nacional de Investigacion Cientifica (CNRS) - Instituto Frances de la Investigacion Cientifica para el Desarrollo en Cooperation (ORSTOM)

Revisión Bibliográfica

La cuenca del Altiplano esta situada en el sector occidental del pais y es endorreica dado que es una cuenca cerrada, sin desague hacia el mar (de Morales 1990)

Los ambientes hidricos de la cuenca endorreica son de dos tipos Las aguas corrientes que son las que nacen en altitudes elevadas y desembocan en el Lago Titicaca Este lago se drena parcialmente a través del Río Desaguadero para formar el subsistema del Lago Poopó y de los salares hacia el sud

Las aguas estancadas constituyen lagos y lagunas Los mas importantes espejos de agua son el Lago Titicaca, el Uru Uru, el Poopo y el Salar Coipasa (Peña et al 1993)

La calidad de las aguas superficiales de la cuenca "endorreica" presentan un incremento de contenido de sales de norte a sur Asi la aguas del Lago Titicaca presentan una salinidad inferior a 1 g/l y del inicio del Río Desaguadero hasta la Joya (altura de la Laguna Soledad) se incrementan los niveles de salinidad del agua a valores entre 1 y 2 g/l A partir de la Joya la salinidad es superior a 2 g/l y llega a 100 g/l en la parte sur del Lago Poopo (Intecsa 1993)

En lo referido a recursos hídricos subterráneos Quintanilla et al (1991) indica que los recursos de agua subterránea de buena calidad en la región de Patacamaya parecen existir generalmente en las series geológicas del cuaternario en la parte superior de las series de inundación

Coudrain-Ribstein et al (1994), mediante un estudio realizado en un acuífero de la provincia Villarroel, identificó dos sistemas hídricos El primero es de baja salinidad, producto de la infiltración desde las montañas El segundo es de mayor salinidad como consecuencia de una combinación de la recarga por el Río Desaguadero, evaporación del acuífero y disolución de sedimentos salinos de antiguos lagos del cuaternario que fueron secados durante un régimen hidrológico seco entre 1,500 y 8,000 años atrás

Materiales y Métodos

Area del estudio

Situación geográfica

El Cantón San José Llanga esta ubicado a 117 km al sur-este de la Ciudad de La Paz Geográficamente se encuentra en 17º 23' de latitud sur y 67º 54' de longitud oeste Políticamente está localizada en el Departamento de La Paz, Provincia Aroma, Segunda Seccion Umala

Población y superficie

El Cantón cuenta con una población aproximada de 480 habitantes distribuidos en 80 familias en seis zonas La superficie del canton es de 7,200 hectáreas distribuidos en dos zonas denominadas por Alzérreca y Lara (1987) como campos agrícolas en descanso (CADES) y campos nativos de pastoreo (CANAPAS) El area de estudio del recurso hídrico subsuperficial fue los campos nativos de pastoreo (CANAPAS) (figura 1)

Clima

Según datos de la Estación Experimental Patacamaya, la temperatura promedio es de 9 2 ºC con precipitación promedio de 407 mm anuales y humedad relativa media de 54% Las lluvias se inician en el mes de septiembre con valores muy bajos de 10 a 20 mm teniendo aún valores más bajos en octubre A partir del mes de noviembre se inician las lluvias regulares hasta el mes de marzo (Lorini y Liberman 1983) Los vientos provienen principalmente del noroeste durante el verano y suroeste durante el invierno, con una velocidad promedio anual de 3 2 m/s La radiación solar promedio es de 118 cal/cm^2/día y la evapotranspiración potencial promedio es de 2 85 mm/día (Vacher et al 1989)

Suelos y geología

Desde el punto de vista taxonómico se presentan suelos de los órdenes aridisoles, alfisoles, inceptisoles y entisoles Según su capacidad de uso, hay suelos de las categorías IV, V, VI, VII y VIII (CIASER/GEOBOL 1985) La geología está representada principalmente por depósitos fluvio-lacustres y depósitos fluviales del cuaternario (CIASER/GEOBOL 1985)

Hidrografía

Hidrológicamente el área de estudio pertenece a la cuenca del Río Desaguadero y es parte de las subcuencas de los rios Khora Jahuira y Kheto Por tanto el área recibe aportes en la parte alta y media La subcuenca del Río Khora Jahuira tiene una pendiente que permite la formación de un escurrimiento fluvial definido que atraviesa el Cantón y es susceptible de ser aprovechado en riego

Por otra parte, en el límite sud-oeste del área de estudio, se localiza el aporte de la cuenca del Río Kheto pero la pendiente no permite la formación de un curso de agua definido en el Canton Como resultado, se produce almacenamiento

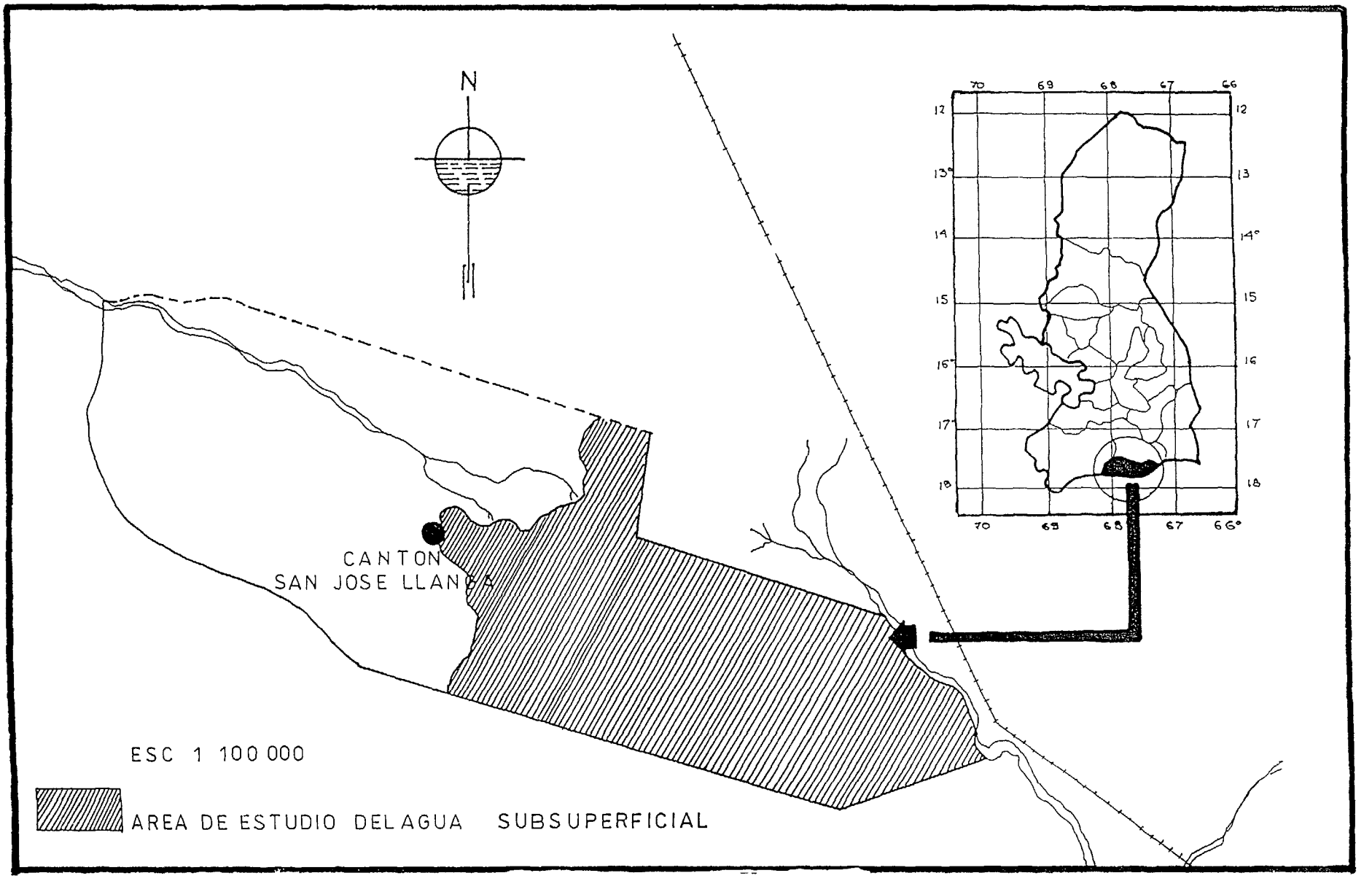


Figura 1 Area de estudio, Cantón San José Llanga, Provincia Aroma, Departamento de La Paz

superficial con zonas anegadas durante los meses humedos Esta es una de las causas de la elevada salinidad de sus aguas (15 8 mS/cm[2/] en agosto de 1992 y 14 5 mS/cm en agosto de 1993, Coudrain-Ribstein 1994)

Finalmente la parte baja del Cantón recibe el aporte de las aguas del Río Desaguadero, mediante un canal de regadio (figura 2)

Datos de registros pluviométricos

Para evaluar la meteorologia superficial se utilizaron los registros pluviométricos de las estaciones meteorologicas de Patacamaya, Sica Sica y Umala, obtenidos del Servicio Nacional de Meteorologia e Hidrologia (SENAMHI) Para el análisis de consistencia y relleno se usaron los datos de la estaciones de El Alto, Ayo Ayo, Eucaliptus y Oruro

Material de campo y gabinete

Para realizar el estudio se utilizaron los siguientes materiales

- pluviómetro
- soga de 30 metros con señales cada 0 50 m
- soga de 10 metros con señales cada 0 20 m
- planilla de registros pluviométrico
- planilla de registro de "aforos con molinete" del SENAMHI
- varilla metalica de 1 50 metros de altura
- Molinete Gurley No hélice 2 proporcionado por el SENAMHI
- cronómetro
- conductivímetro marca YSI
- modelo L-T-C (level, temperature, conductivity)
- barreno de 2 metros
- combo
- estacas de madera
- wincha de acero de 5 metros
- nivel topográfico
- miras
- trípode
- planímetro

Metodología

Recurso hídrico superficial

1 Pluviometría

Selección de registros pluviométricos Se eligieron los registros pluviométricos de las estaciones meteorológicas de acuerdo a la cercanía de éstas al área de estudio, amplitud y continuidad del registro pluviométrico

Prueba de homogeneidad de los datos Se empleó la prueba de recorrido de wald-wolfowitz según la metodología indicada por Villalpando (1986)

[2/] mS/cm = miliOhms por cm

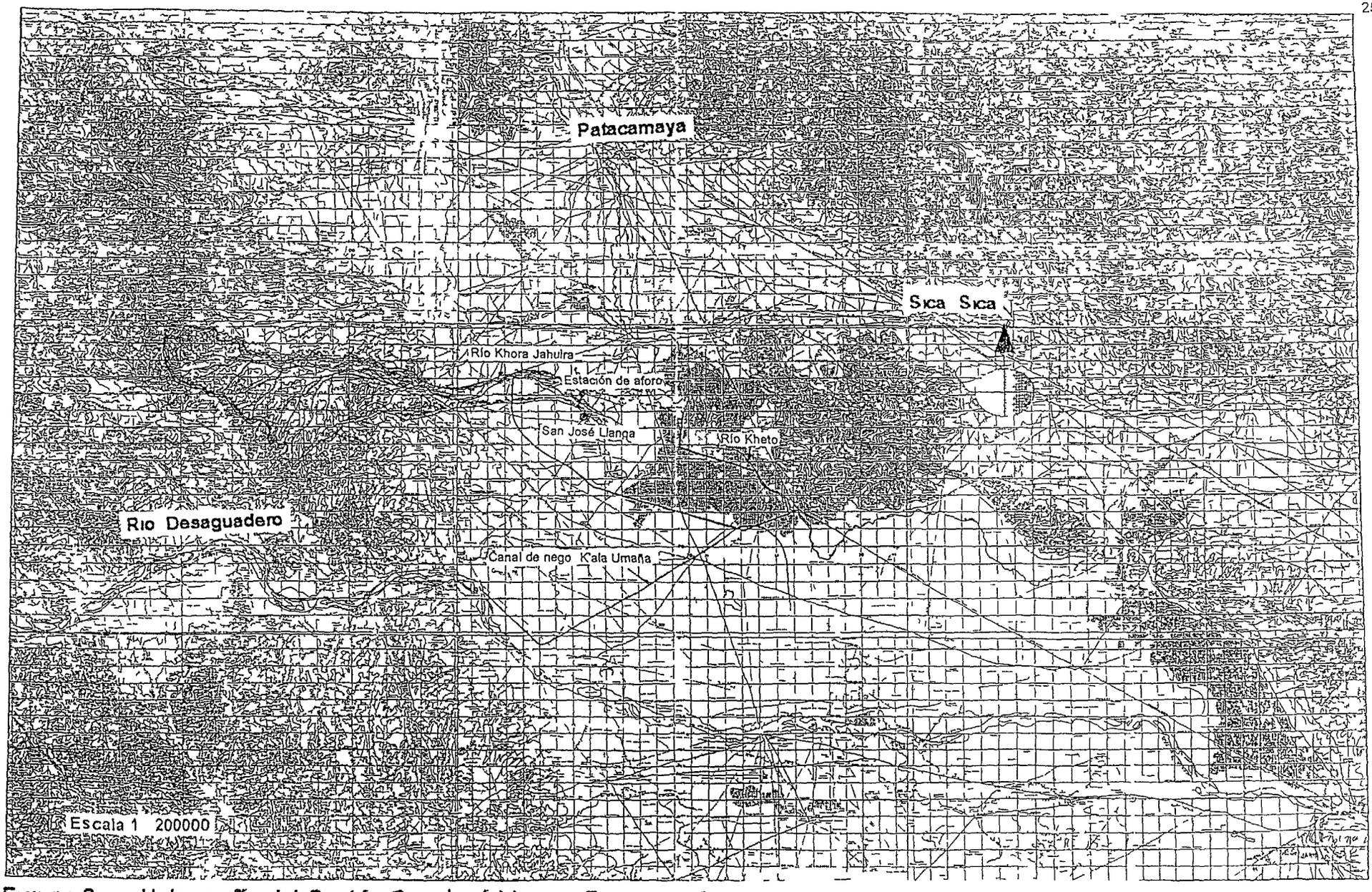


Figura 2 Hidrografía del Cantón San José Llanga, Provincia Aroma, Departamento de La Paz

Análisis de consistencia, estimación de datos faltantes y corrección Se empleó la metodología recomendada por la UNESCO en el "Balance Hídrico para America de Sur" (UNESCO 1982)

Precipitación en San José Llanga La precipitacion en el area de estudio se estimó por el metodo Raster modificado (Montaño 1990)

Cálculos probabilísticos Para determinar la precipitacion con probabilidad de excedencia de 60 y 80% para el periodo vegetativo (octubre a abril) en San Jose Llanga se emplearon las distribuciones acumulativa, normal y gamma (Villalpando, 1986)

2 Aforo del río y canal de riego

El aforo del Rio Khora Jahuira se realizó los meses de mayor precipitación (enero y marzo de 1993) con la ayuda de un molinete Se realizaron aforos en la mañana y por la tarde los dias que hubo precipitación debido a que el caudal en el rio es producto del escurrimiento Así en enero de 1993 se realizaron aforos 4 dias y en marzo del mismo año 3 días, dos veces por día

La metodología de aforo se realizó de acuerdo a Paredes (1971) En lo referido al canal de riego no se aforó su caudal diario pues la obra de toma es rudimentaria y el caudal que ingresa al mismo es variable Sin embargo, se obtuvo la eficiencia de conducción del mismo mediante aforo directo con molinete

3 Obtención de muestras de agua para caracterización fisico-química

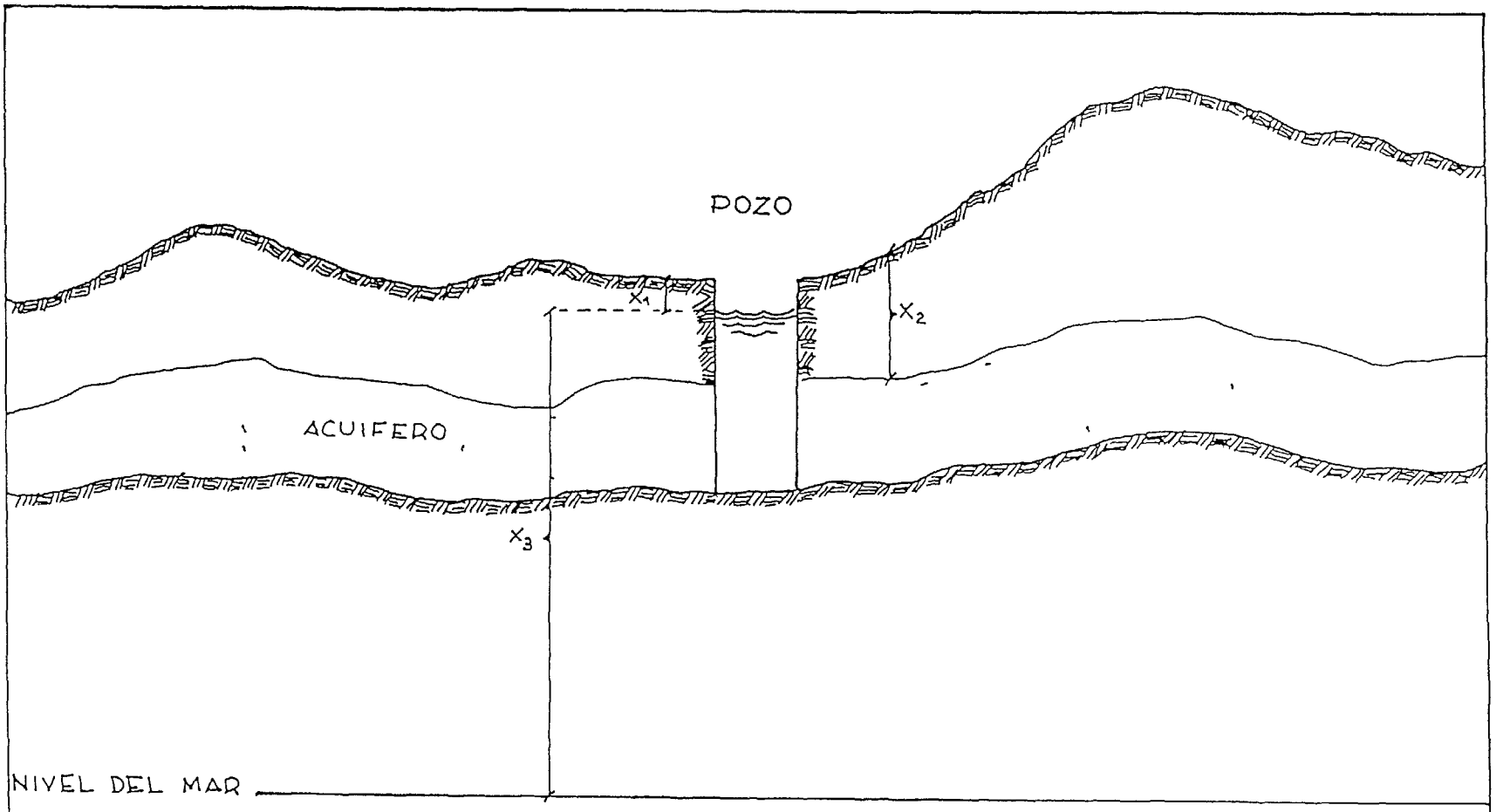
Las muestras para caracterización físico-química de las aguas del Río Khora Jahuira se extrajeron los meses de enero y marzo de 1993 En noviembre de 1992 se tomaron muestras de agua en el canal de riego Los análisis para la caracterización fisico-química se realizaron en los laboratorios del Instituto de Investigaciones Quimicas de la Universidad Mayor de San Andrés (La Paz) para los parámetros sólidos totales, salinidad, conductividad eléctrica, pH, calcio, magnesio, sodio, potasio, nitratos, fosfatos, sulfatos, cloruros, carbonatos, bicarbonatos y boro

Recurso hídrico subsuperficial

Para evaluar el recurso hídrico subsuperficial se estudiaron los parámetros que se observan en la figura 3

1 Puntos de observación

Por ser mejores indicadores de la calidad y características del agua subsuperficial los puntos de observación principales (figura 4) fueron elegidos entre los 54 pozos construidos por los comunarios y de uso constante Como puntos auxiliares se excavaron 33 pozos y se realizaron 50 barrenaciones en los lugares donde no existían pozos y era difícultosa su excavación



X1 = Distancia desde la superficie hasta el nivel del agua este dato sirve para elaborar mapa de curvas isobatia
X2 = Profundidad a la que se encuentra el suelo saturado o nivel de saturación
X3 = Altura sobre el nivel del mar del nivel del agua este dato sirve para elaborar el mapa de Isopiezas

Figura 3 Parametros evaluados del agua subsuperficial del Canton San Jose Llanga

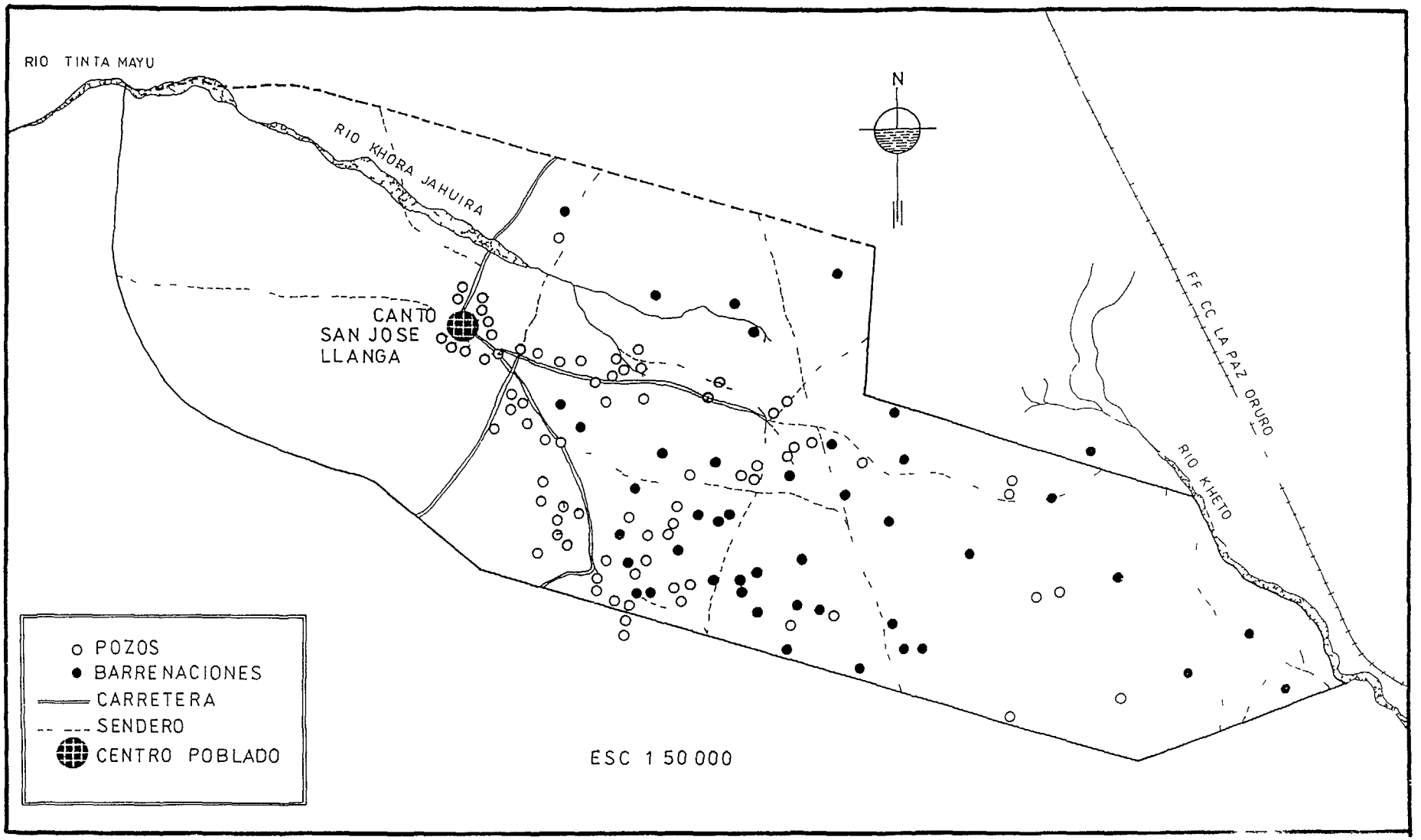


Figura 4 **Puntos de observación principales del agua subsuperficial del Cantón San Jose Llanga**

2 Medición de la conductividad eléctrica del agua subsuperficial

Se hicieron mediciones mensuales de la conductividad electrica en los pozos durante 1 año en los 54 pozos permanentes y en una sola oportunidad en los pozos construidos y barrenaciones

Con la información de conductividad eléctrica del agua en cada punto y las coordenadas de los pozos y barrenaciones obtenidas de cartografia (Mapa de la comunidad escala 1 20000 y del Instituto Geografico Militar (IGM) a 1 50000) utilizando el paquete "Surfer" (Golden Software, Golden Colorado, USA) se elaboro el mapa de **isolíneas de conductividad eléctrica**

3 Medición de los niveles freáticos

Se hicieron mediciones mensuales del nivel freatico durante doce meses en los 54 pozos permanentes desde agosto de 1992 a julio de 1993 y en una sola oportunidad en los pozos excavados temporalmente y barrenaciones

Para ello se estableció un punto de referencia que se localiza en el borde del pozo mediante una estaca Una vez medida la conductividad eléctrica, se introdujo la sonda hasta tocar el fondo del pozo La profundidad total del mismo se mide directamente y la profundidad del nivel freatico respecto al punto de referencia, restando del dato anterior la longitud de la porción mojada del cable que se mide con una wincha metálica graduada En base a los datos de niveles de agua respecto a la superficie elaboramos el mapa de **curvas isobatías** utilizando el paquete graficador Surfer, donde se precisó los siguientes aspectos

- Localización de las zonas con diferentes niveles freáticos
- Magnitud total de la superficie donde el manto freático se encuentra a menos de 2 00 metros de profundidad

4 Determinación de cotas

A partir de cotas de altitud determinadas por el IGM y con la ayuda de un nivel topográfico, se obtuvieron las cotas o alturas sobre el nivel del mar de 40 puntos geográficos (35 pozos y 5 barrenaciones) Con esta información unida a la de los minimos niveles freáticos se elaboro el mapa de **isopiezas** Este permitió identificar las líneas equipotenciales, la dirección de las líneas de corriente de las aguas freáticas y las zonas de recarga y de descarga

5 Obtención de muestras del agua subsuperficial para su caracterización fisico-química

La obtención de muestras del agua subsuperficial para su caracterización fisico-quimica se la realizó en base al mapa de isolíneas de conductividad electrica en dos grupos El primer grupo de 14 muestras se obtuvo al final de la época seca (noviembre de 1992) y el segundo de 19 muestras al final de la época húmeda (abril de 1993) El análisis físico-quimico para los parámetros indicados anteriormente se llevó a cabo en los laboratorios del Instituto de Investigaciones Químicas de la Universidad Mayor de San Andrés

Resultados y Discusión

Recursos hídricos superficiales

Precipitación

1 Selección de estaciones patrón

Como estaciones patron se emplearon las estaciones El Alto y Oruro por su antiguedad y consistencia Para completar datos faltantes de la estacion Sica Sica se utilizaron los datos de las estaciones de Ayo Ayo y Eucaliptus por su consistencia y por tener datos de periodos faltantes en Sica Sica

2 Análisis de homogeneidad

Para analizar la homogeneidad de las estaciones seleccionadas se empleó la prueba de Wald-Wolfowitz (Villapando 1986) en la cual se grafican los totales anuales de precipitación en función a los años, lo mismo que la media del período considerado (figuras 5 y 6) Se observa que los datos de estación Patacamaya son homogéneos Por el contrario, los correspondientes a la estación Sica Sica son heterogéneos

3 Prueba de consistencia

Para evaluar la consistencia de los datos pluviométricos de las estaciones Patacamaya y Sica Sica se empleó el método de las curvas dobles acumuladas Se graficaron los datos de precipitación acumulados de la estación patron versus la estación de la cual quiere determinarse su consistencia En este caso las estaciones Patacamaya y Sica Sica se compararon con las estaciones patrón El Alto y Oruro (figuras 7, 8, 9 y 10)

La curva doble acumulada Patacamaya-El Alto no presenta quiebres lo cual muestra la consistencia de los datos de la estación Patacamaya Lo mismo ocurre con la curva Patacamaya-Oruro

Por el contrario la curva doble acumulada Sica Sica-El Alto presenta 4 quiebres, siendo el más importante el que ocurre a partir de 1970 Esta coincide con el cambio del encargado de las lecturas del pluviómetro en Sica Sica La curva doble acumulada Sica Sica-Oruro tiene un comportamiento similar presentando un pronunciado quiebre a partir del año 1970 El período de datos pluviométricos de la estación Sica Sica que requiere corrección es el comprendido entre 1970 a 1953

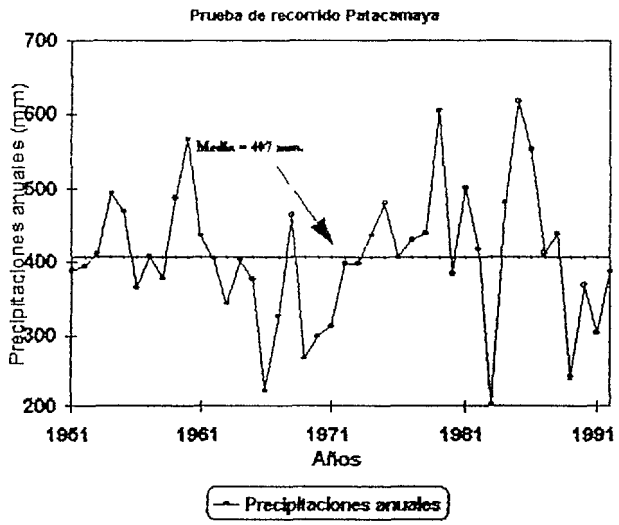


Figura 5 Prueba de recorrido para los datos pluviometricos de la estacion meteorologica Patacamaya periodo 1951-1992

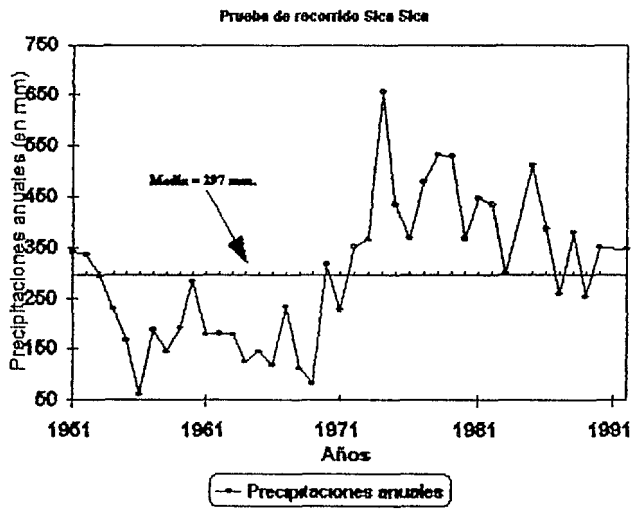


Figura 6 Prueba de recorrido para los datos pluviometricos de la estacion meteorologica Sica Sica período 1951 - 1992

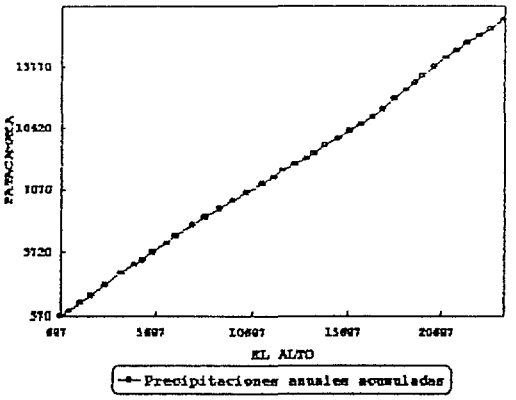


Figura 7 Curva doble acumulada de las estaciones Patacamaya y El Alto periodo 1946 - 1990

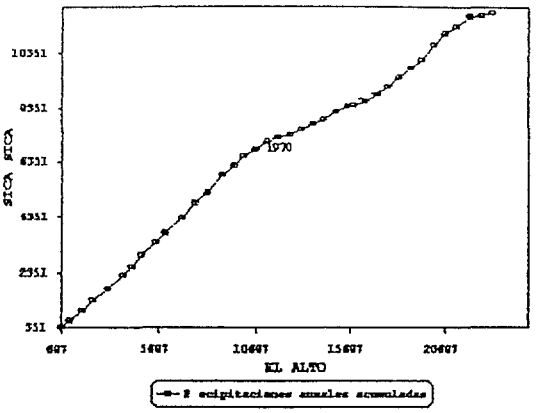


Figura 8 Curva doble acumulada de las estaciones Sica Sica y El Alto periodo 1944 - 1990

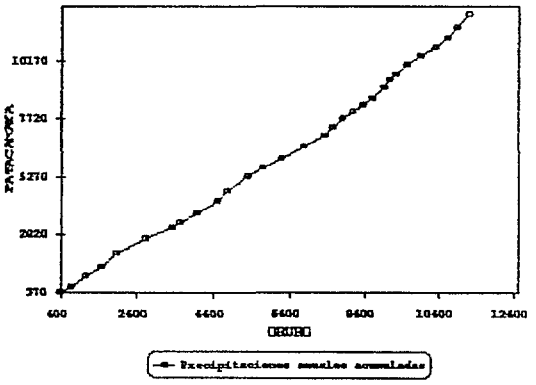


Figura 9 Curva doble acumulada de las estaciones Patacamaya y Oruro periodo 1960 - 1990

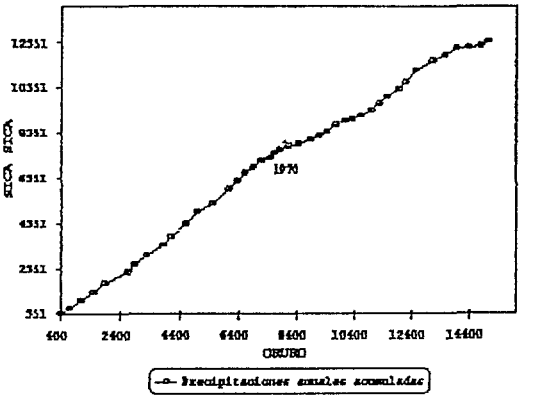


Figura 10 Curva doble acumulada de las estaciones Sica Sica y Oruro periodo 1943 - 1990

4 Estimación de datos faltantes

La estación que requirio el llenado de datos pluviometricos faltantes fue la estación de Sica Sica para los años 1968, 1969 y 1975 Se utilizaron los datos pluviometricos de Patacamaya (23 Kms al norte de Sica Sica) y Eucaliptus (38 25 Kms al sur de Sica Sica) Para lo cual se empleó la siguiente relación

$$P_{Sica\ Sica} = P_{patacamaya} * \frac{P_{Patacamaya} - P_{Eucaliptus}}{a+b} * a$$

donde

$P_{Sica\ Sica}$	=	Precipitacion estimada enSica Sica
$P_{Patacamaya}$	=	Precipitacion en Patacamaya
$P_{Eucaliptus}$	=	Precipitacion en Eucaliptus
a	=	Distancia (km) de Patacamaya a Sica Sica
b	=	Distancia (km) de Eucaliptus a Sica Sica

Para completar los datos pluviométricos mensuales faltantes de Sica Sica del año 1984 tuvo que realizarse mediante regresión lineal con la estación de Ayo Ayo

5 Corrección de datos Para corregir la consistencia de los datos pluviometricos completos de la estación Sica Sica se empleó la metodología propuesta por la UNESCO (1982) en el "Balance Hídrico para America del Sur", elaborando la respectiva curva doble acumulada Patacamaya-Sica Sica (figura 11) mediante la cual está corregido la pendiente del período incorrecto (1970-1957) en base a la pendiente del periodo considerado correcto (1970-1990)

6 Cálculo de la precipitación estimada de San José Llanga (período 1957-1993) Con los registros pluviométricos mensuales corregidos de Sica Sica y de Patacamaya, correspondientes al período 1957 a 1993, se calcula la precipitación para San Jose Llanga, empleando el método Raster Este se modificó mediante la siguiente relación

$$P_{San\ Jose\ Llanga} = \frac{\frac{1}{(r_{Patacamaya})^2} * P_{Patacamaya} + \frac{1}{(r_{Sica\ Sica})^2} * P_{Sica\ Sica}}{\frac{1}{(r_{Patacamaya})^2} + \frac{1}{(r_{Sica\ Sica})^2}}$$

donde

$P_{San\ Jose\ Llanga}$	=	La precipitacion estimada (mm) para San Jose Llanga de un periodo mensual
$P_{Patacamaya}$	=	La precipitacion mensual (mm) de Patacamaya
$P_{Sica\ Sica}$	=	La precipitacion mensual en Sica Sica en mm
$r_{Patacamaya}$	=	La distancia (km) de Patacamaya a San José Llanga
$r_{Sica\ Sica}$	=	La distancia (km) de Sica Sica a San Jose Llanga

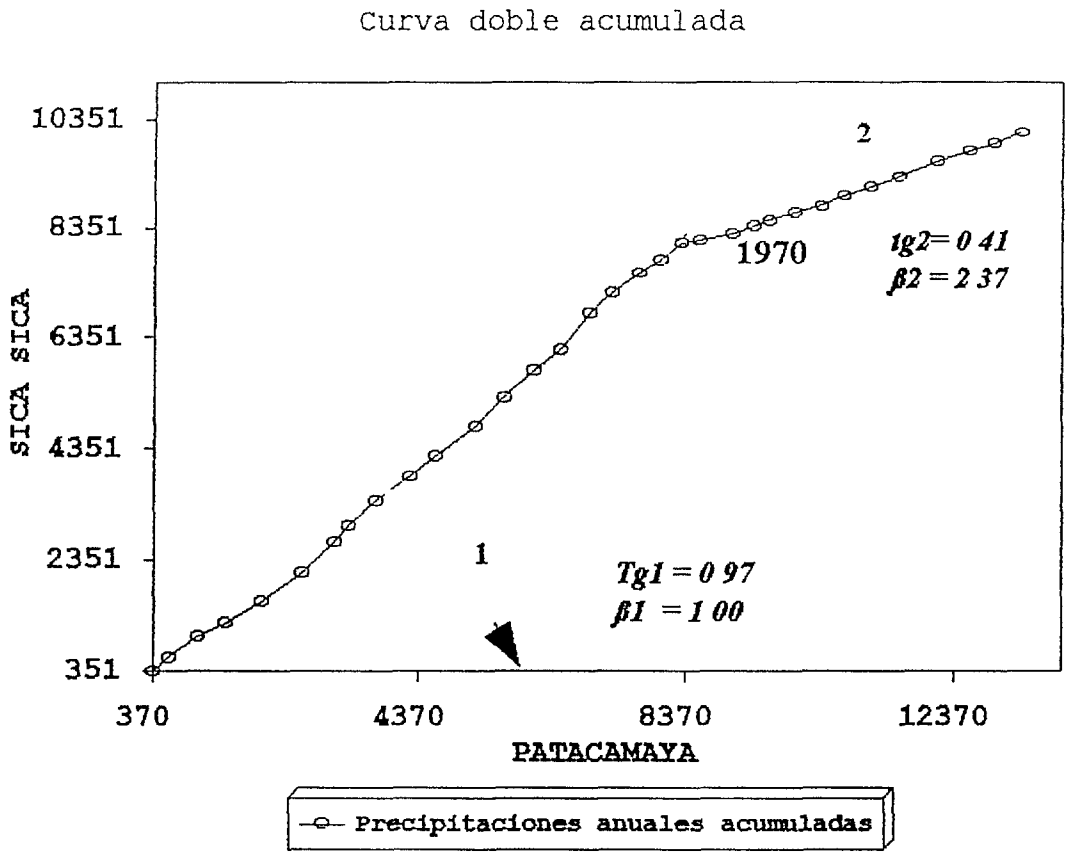


Figura 11. **Curva doble acumulada Patacamaya - Sica Sica período 1990 - 1957**

Cuadro 1 **Precipitación mensual estimada de San José Llanga (1957 - 1993)**

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1957	101 5	79 9	31 3	21 6	19 3	22 1	0 0	0 6	6 1	21 7	29 7	89 8
1958	108 2	85 3	71 6	7 2	16 1	0 0	0 6	0 0	10 2	7 3	21 2	37 2
1959	90 3	64 9	124 7	18 7	5 5	1 8	0 0	0 0	27 4	11 5	19 6	109 0
1960	164 7	74 6	78 4	22 5	4 8	0 0	0 0	45 3	94 7	33 0	52 5	10 4
1961	81 9	61 1	36 1	39 3	17 5	0 0	0 0	13 8	37 0	17 0	30 1	97 4
1962	108 1	60 0	58 6	19 2	5 0	0 0	0 0	7 7	20 7	6 3	15 3	112 0
1963	99 9	99 7	37 2	10 8	9 5	0 0	0 0	0 6	13 6	18 5	25 3	61 6
1964	68 0	57 0	123 4	2 7	7 0	0 0	0 0	24 4	7 1	1 2	13 1	57 0
1965	133 0	36 0	48 6	12 0	2 7	0 0	2 1	2 9	23 6	6 6	45 4	51 1
1966	51 1	56 1	9 9	1 9	4 4	0 0	0 0	19 0	0 6	19 4	32 2	52 3
1967	34 7	57 8	38 3	6 5	4 5	0 0	11 1	25 9	30 8	21 3	7 8	35 6
1968	70 1	124 7	19 8	10 0	6 6	8 5	0 0	16 9	8 6	13 7	77 8	27 3
1969	139 0	38 7	17 4	13 2	0 4	0 5	0 0	7 2	12 4	4 2	9 9	29 1
1970	59 2	42 1	51 6	45 1	24 4	0 0	0 0	0 0	6 3	13 0	11 7	53 2
1971	54 7	89 6	21 8	14 3	0 6	0 0	1 9	2 2	0 0	13 9	49 2	30 1
1972	95 6	75 0	28 6	12 3	3 0	0 4	10 1	2 8	25 3	31 7	29 0	66 4
1973	111 2	37 7	59 6	15 9	10 8	0 0	8 9	14 6	33 4	11 7	10 3	36 0
1974	162 7	168 3	24 9	29 2	0 0	1 8	1 2	64 1	6 8	23 2	15 6	29 6
1975	142 1	125 4	28 3	11 1	14 0	11 2	0 0	1 9	23 2	17 0	11 3	78 0
1976	137 6	46 5	45 9	18 4	2 5	6 8	22 2	7 1	41 9	0 1	1 3	60 9
1977	48 4	72 9	71 0	8 0	13 4	0 0	5 4	0 3	22 8	32 8	90 2	85 2
1978	88 2	122 3	51 1	20 3	0 2	0 0	0 4	17 7	9 5	2 1	81 1	85 4
1979	219 1	47 2	86 0	21 4	0 0	0 0	3 4	0 0	3 2	35 9	23 7	134 5
1980	43 5	66 1	104 5	7 6	4 4	0 0	9 1	11 1	50 6	28 1	15 1	38 1
1981	92 4	78 4	96 1	14 4	13 0	0 0	0 0	13 9	34 8	26 7	42 2	67 6
1982	164 9	24 3	71 5	37 8	0 0	1 7	0 0	1 1	37 2	20 4	54 3	11 8
1983	17 3	44 5	11 8	13 9	7 5	0 0	7 9	37 6	25 9	18 9	6 5	50 2
1984	171 7	121 8	60 3	13 1	1 6	9 8	0 3	11 0	1 8	19 1	48 8	41 3
1985	105 7	121 0	54 0	37 3	7 4	8 3	0 0	15 3	48 3	21 4	92 2	63 4
1986	88 2	54 2	58 1	32 0	11 2	0 0	0 5	14 8	22 8	11 6	22 8	167 3
1987	126 3	15 0	27 1	10 7	6 5	17 3	16 8	3 1	18 4	45 6	40 7	22 5
1988	102 2	62 8	109 7	51 3	17 5	0 0	0 0	0 0	13 3	18 4	5 5	34 2
1989	74 6	29 3	20 7	29 2	2 7	2 4	1 4	5 8	18 8	8 0	17 1	35 9
1990	69 0	40 2	24 4	20 5	18 8	57 5	0 0	5 9	9 5	53 1	22 6	40 9
1992	150 6	44 5	12 6	3 6	0	7 6	3 6	9 4	0	36 2	64 4	42 2
1993	137 1	38 8	56 9	3	5 3	2 7	0	22	27 4			
promedio	103 1	68 4	52 0	18 2	7 4	4 5	3 0	11 8	21 5	19 2	32 4	60 7

7 **Análisis probabilístico** Con los datos estimados correspondientes al periodo 1957-1990 (cuadro 1), se realizo el análisis probabilistico para los meses de octubre a abril que engloba la totalidad del periodo vegetativo en el Altiplano Central Para tal fin se empleó tres distribuciones que son

- Distribución acumulativa
- Distribución normal
- Distribución gamma

Se calcularon las precipitaciones mensuales con probabilidades de excedencia del 80% (cuatro lluvias de cada cinco) y del 60 % (tres lluvias de cada cinco) Es decir, la precipitación que tiene una probabilidad de ser superada cuatro años de cada cinco o tres años de cada cinco, respectivamente Una vez determinadas las tres distribuciones se realizo la prueba de bonda de ajuste de Kolmogorov-Smirnov, determinándose que la distribucion que mejor se ajusta los datos de San Jose Llanga es la distribución normal (cuadro 2)

Cuadro 2 Precipitaciones mensuales (mm) con probabilidad de excedencia de 60 y 80% calculadas mediante la distribucion normal para el periodo vegetativo (octubre-abril) para San Jose Llanga, Provincia Aroma, Departamento de La Paz

Probabilidad de excedencia (%)	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abril
60	15 6	25 3	52 7	89 6	61 3	45 1	16 1
80	8 4	10 8	32 5	63 2	40 8	25 3	8 9

Escurrimiento

La medida del escurrimiento se realizó mediante el aforo del Río Khora Jahuira que tiene una cuenca de recepción de 64 km^2 San José Llanga se encuentra en el final de esta cuenca Por lo tanto, recibe la totalidad de este recurso hídrico dentro de sus límites La otra fuente superficial de agua proviene del Río Desaguadero mediante un canal de riego construido en 1984 por los habitantes de cuatro comunidades, entre ellas incluida San José Llanga Del canal de riego se determinó su eficiencia de conducción

1 Aforo del Río Khora Jahuira

Se realizaron aforos con un molinete a cazoletas "Gurley" cuatro días en el mes de enero y tres días en el mes de marzo Los datos obtenidos se procesaron con el

paquete "Hidrom 3 1" (ORSTOM, 1994), determinándose los caudales medios diarios Adicionalmente, se midio la precipitacion diaria correspondiente (cuadro 3)

Cuadro 3 Caudales medios diarios del Rio Khora Jahuira y precipitacion diaria en San Jose Llanga, Provincia Aroma, Departamento de La Paz

Fecha	Caudal medio diario (litros/segundo)	Precipitacion diaria (mm)
17-01-93	4842	20 5
26-01-93	171	1 0
27-01-93	1557	16 7
29-01-93	696	3 8
03-03-93	346	3 5
26-03-93	396	4 5
27-03-93	4032	17 6

2 Relación entre precipitación y caudal del Río Khora Jahuira

Con la precipitación medida en San José y el caudal diario aforado en el Río Khora Jahuira se realizó la regresión polinómica para obtener la naturaleza de la relación entre ambas variables La misma tiene un coeficiente de regresión r = 0 93 que indica que la ecuación obtenida explica un 93% de la relación entre ambas variables Por lo tanto, el caudal diario que escurre por el Río Khora Jahuira puede estimarse a partir de la precipitación diaria medida en San José con la siguiente ecuación, válida a partir de 1 mm de precipitación

$$Y = 5\ 97293 + 195\ 88399(X) - 25\ 88849(X^{2)} + 1\ 37932(X^{3)}$$

donde

Y = Caudal diario en San Jose Llanga (liters/sec)
X = Precipitación diaria en San José Llanga (en mm)

Eficiencia de conducción del canal de riego

La extensión total del canal principal es de 23 kms desde la boca toma en K'ala Umaña hasta la última comunidad que lo utiliza, Huarichullpa Se realizaron siete aforos en diferentes sitios a lo largo del canal principal en fecha 18 de agosto de 1993 En la figura 12 se observa el canal de riego y los puntos de aforo

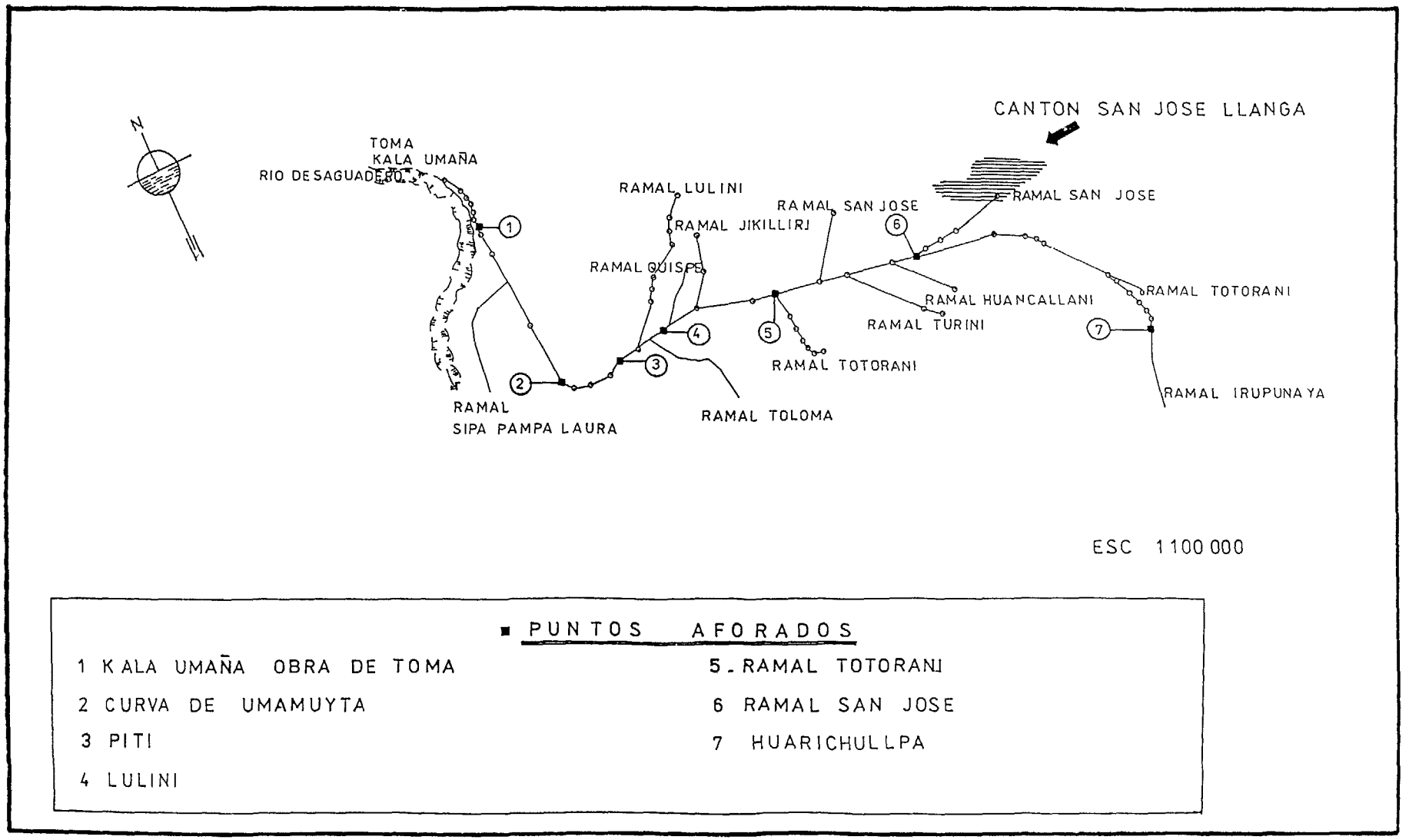


Figura 12 Aforos realizados sobre el canal de riego K'ala Umaña

Los aforos se procesaron con el paquete Hidrom 3 1 calculándose los caudales correspondientes En el cuadro 4 se presentan los caudales para cada punto de aforo, distancia hasta la boca toma y eficiencia de conduccion

Cuadro 4 Caudales, distancia hasta la boca toma y eficiencia de conduccion de los puntos aforados en el canal de riego principal K'ala Umana

Puntos de aforo	Caudal (l/s)	Distancia hasta la boca toma (km)	Eficiencia de conduccion (%)
1 Boca toma del canal de riego K'ala Umaña	274	0	100
2 Curva de Umamuyta	251	4 8	91 6
3 P'iti	216	6 7	78 8
4 Lulini	204	8 2	74 4
5 Ramal de totorani	188	11 4	68 5
6 Ramal San Jose	180	15 4	65 7
7 Huarichullpa	162	23 0	59 1

Se observa que el volumen total de agua que ingresa al canal de riego en K'ala Umaña es de 274 l/s, de los cuales llegan hasta el ramal principal que sirve a los comunarios de San José Llanga un 65 7 % (180 l/s) El tramo de mayor pérdida de caudal está comprendido entre la curva de Umamuyta y P'iti (1 95 km de extensión) que corresponden a suelos de textura predominantemente arenosa, donde se pierde un 12 8 % (23 l/s) del caudal inicial

Evapotranspiración

La evapotranspiración se calculó para el período de 1960-1993 y para el periodo de estudio (agosto de 1992 a julio de 1993) con los datos meteorológicos de la estación experimental de Patacamaya, debido a la proximidad de la misma al área de estudio y la validez de sus datos El metodo empleado fué de Blaney y Criddle (citado por Doorembos y Pruitt, 1976) basado en la siguiente relación

$$ETP = p * (0\ 46t + 8\ 13)$$

donde

ETP = Evapotranspiración potencial
p = Porcentaje diario medio de horas diurnas anuales
t = Temperatura media mensual en °C

Balance hídrico climático

El balance hídrico climático para San José Llanga se realizó utilizando la evapotranspiración potencial media del período 1960-1993 y la precipitación con probabilidad de excedencia del 80 % , este balance nos indica las condiciones que prevalecerán 4 de cada 5 años También se realizó el balance hídrico climático para el período de estudio (cuadros 5, 6 y figuras 13 y 14)

Cuadro 5 **Balance hídrico de San José Llanga para el período 1960-1993**

	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J
Precipitación prob de exced del 80% (mm)	11 8	21 5	8 4	10 8	32 5	63 2	40 8	26 3	8 9	7 4	4 5	3
Evapotranspiración Potencial (mm) período 1960-1993	89 9	99	111 6	117	120 9	120 9	106 4	114 7	102	93	78	81
Almacenamiento en el suelo (mm)						13 4	0 2					
Déficit hídrico (mm)	78 1	77 5	103 2	106 2	88 4	57 7	65 6	88 4	93 1	85 6	73 5	78

Cuadro 6 **Balance hídrico de San José Llanga para el período de estudio (agosto de 1992-julio 1993)**

	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J
Precipitación período de estudio (mm)	9 4	0	36 2	64 4	42 2	137 1	38 8	56 9	3	5 3	2 7	0
Evapotranspiración potencial (mm) período de estudio	93	105	117 8	120	124	114 7	100 8	111 6	105	99 2	84	83 7
Almacenamiento en el suelo (mm)						22 4						
Déficit hídrico (mm)	83 6	105	81 6	55 6	81 8		39 6	54 7	102	93 9	81 3	83 7

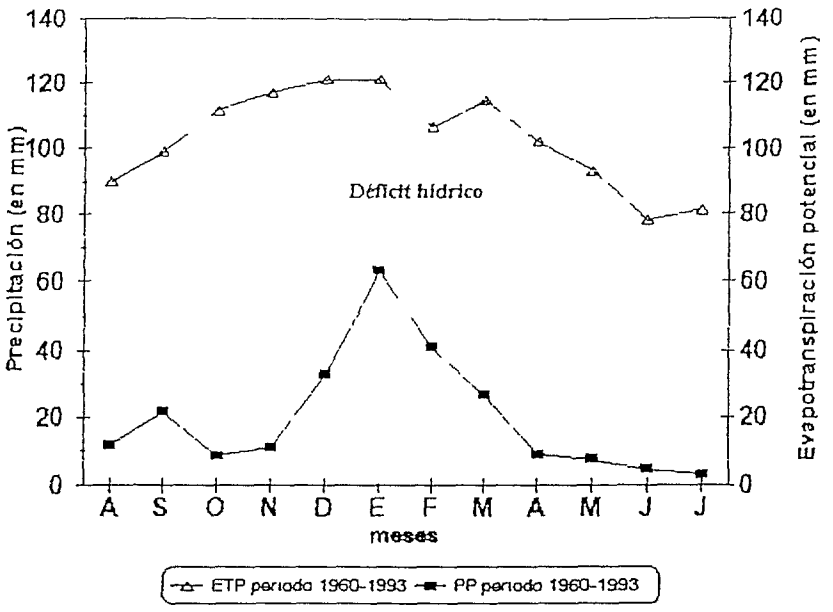


Figura 13 **Balance hídrico para San José Llanga, con probabilidad del 80 % (4 de cada 5 años)**

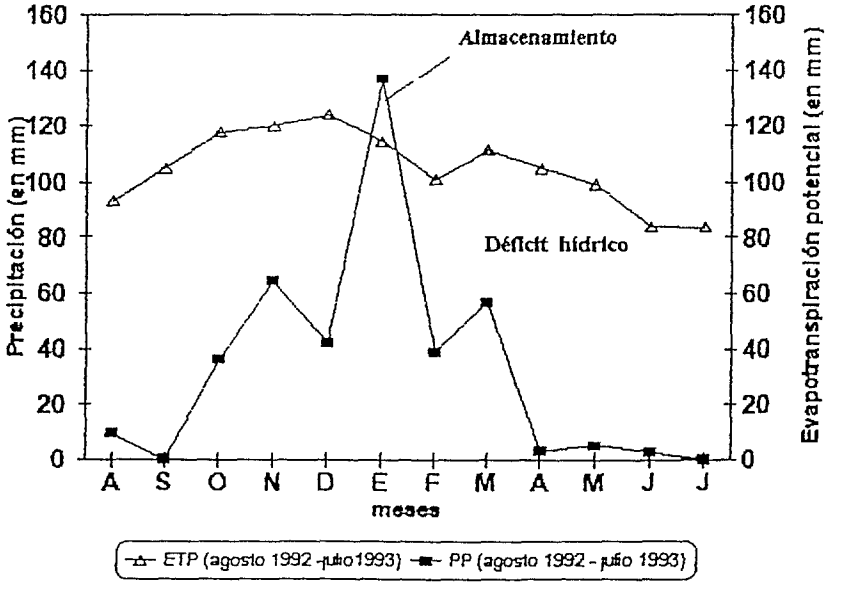


Figura 14 **Balance hídrico para San José Llanga, período de estudio agosto de 1992 a julio de 1993**

Se observa en el cuadro 5 y la figura 13 que el deficit hídrico abarca todo el año siendo con mayor intensidad el mes de noviembre, lo cual manifiesta las condiciones de déficit hidrico características del Altiplano Central (Vacher et al 1994) En cuanto a la distribucion de la precipitación anual, se observa que el 72% de la misma ocurre entre los meses de noviembre a marzo, siendo la mayor cantidad el mes de enero con 63 mm con probabilidad de excedencia del 80 %

El balance hídrico del periodo de estudio (agosto de 1992 a julio de 1993) tiene un comportamiento diferente Esto debido a la distribución de la precipitacion que concentró el 29% del total anual en el mes de enero único mes que presenta un ligero excedente

Calidad del agua superficial para riego y uso del ganado

1 Rio Khora Jahuira

La clasificacion se la realizó mediante la metodologia propuesta por la Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura elaborada por Ayers y Westcot (1987) determinándose que la restricción de uso de estas aguas para riego es su elevado contenido de material en suspensión (14 5 y 21 g l^{-1}) Por lo tanto, para utilizarse sin riesgo, debería sedimentarse previamente estas aguas y tomar en cuenta que su bajo contenido de sales puede ocasionar problemas de infiltración Por otra parte no existe restricción de uso de estas aguas para abrevar ganado

2 Canal de riego K'ala Umaña

Para clasificar estas aguas que provienen del Río Desaguadero se tomó una muestra en el canal de riego en noviembre de 1992 Este muestro se complementó con la información de Quintanilla (1994), que obtuvo muestras del Río Desaguadero en Chilahuala los meses de octubre de 1992, enero y febrero de 1993

En base a estos datos se clasificaron las aguas del Río Desaguadero para uso en riego y abrevar ganado según la Ayers y Wescot (1987) Determinándose que el mes más crítico es noviembre que coincide con el final de la época seca la principal restricción de uso en riego es su elevado contenido de sodio y cloro Sin embargo, es necesario aclarar que la clasificación de las aguas del Río Desaguadero no es uniforme debido a la variabilidad del contenido de elementos tóxicos, sodio y cloro en época seca y lluviosa Por otra parte estas aguas pueden ser utilizadas para abrevar el ganado, pero pueden ocasionar diarreas a ganado no acostumbrado, por su contenido de sales

Recursos hídricos subsuperficiales

Geología y geomorfología

El área de estudio está formada por depósitos del cuaternario (Gumiel 1988) La zona alta (campos agrícolas en descanso) está conformada por terrazas fluviales compuesta principalmente de arena El curso del Río Khora Jahuira está conformado por depósitos aluviales La zona baja (campos nativos de pastoreo) se caracteriza por depósitos fluviales, aluviales y lacustres (figura 15)

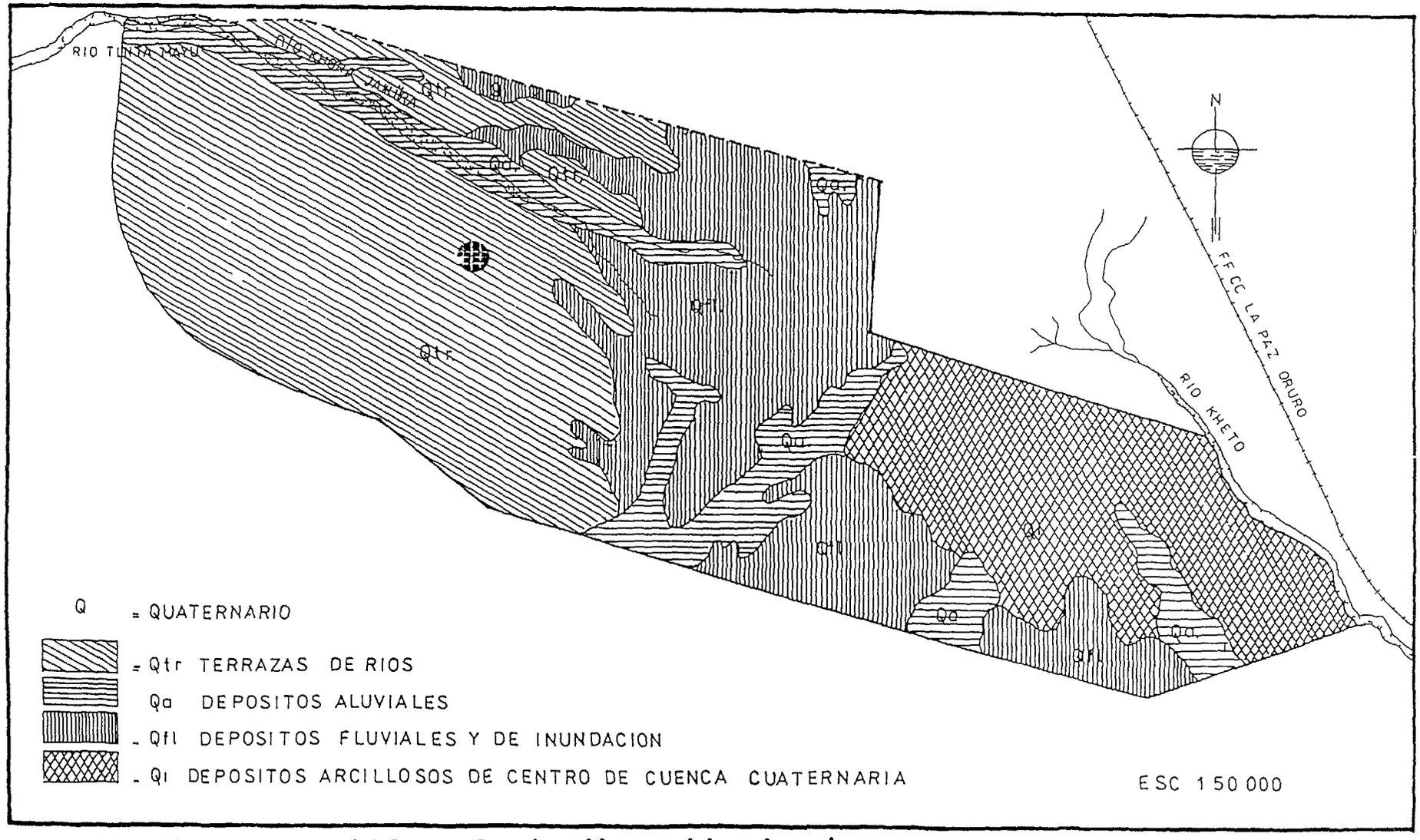


Figura 15 Mapa geologico del Canton San Jose Llanga, elaborado en base a estudio hidrogeologico de Gumiel (1988)

Profundidades del suelo saturado

La profundidad del suelo saturado es aquella a la cual se encuentra el agua o nivel de saturacion Los pozos en los cuales se realizaron las observaciones fueron todos excavados por los comunarios con herramientas manuales Ellos realizan la excavacion de los mismos hasta encontrar la zona de saturación únicamente En tal sentido, la profundidad total del pozo nos indica la profundidad a la que se encuentra el nivel de saturacion o techo del acuífero Estos datos fueron complementados con barrenaciones de observacion, hasta encontrar agua y el nivel de saturación en zonas donde no existian pozos excavados

Con la información de cada punto observado unido a su latitud y longitud respectiva obtenidos de la cartografía del lugar y utilizando el paquete "Surfer" se pudo elaborar el mapa de profundidades del suelo saturado (figura 16) Del mismo se obtuvieron los siguientes resultados

- La zona pintada de rojo representa el área en la que el nivel de saturación se encuentra entre 0 a 1 00 metros de profundidad con 226 hectareas que constituye el 5% del área total del cantón Es la zona con mayores problemas de drenaje

- La zona pintada de amarillo es el área con nivel de saturación entre 1 0 a 1 5 metros de profundidad Representa el 18% del área total del cantón, con 1358 hectáreas

- La zona pintada de verde representa el área con profundidad del nivel de saturación entre 1 50 a 2 00 metros de profundidad con 1,132 hectáreas y el 16% del área total del Cantón

- La zona pintada de azul es el área con nivel de saturación de 2 0 a 3 0 metros de profundidad Constituye el 25% del área total del cantón con 1811 hectáreas

- La zona de color café representa el área con profundidad del nivel de saturación mayor a 3 0 metros Es el 41% del área total del Cantón con 2,956 hectáreas

Se concluye que en 2,716 hectáreas del Cantón San José Llanga el suelo saturado se encuentra a una profundidad igual o menor de 2 metros, desde la superficie del suelo

Variaciones del nivel freático

Las mediciones realizadas en los pozos de observación permitieron determinar que el 92% de los pozos presenta el minimo nivel freatico el mes de noviembre, el 5 5% el mes de octubre y el 1 8 % en julio

El máximo nivel freático de los pozos observados se presentó en un 55% de los mismos el mes de abril, el 42% en marzo y el 1 8% el mes de septiembre Por lo tanto, la fluctuación del nivel freático es ocasionada por las condiciones climáticas propias de la zona (precipitación, evapotranspiración, heladas), la intervención del

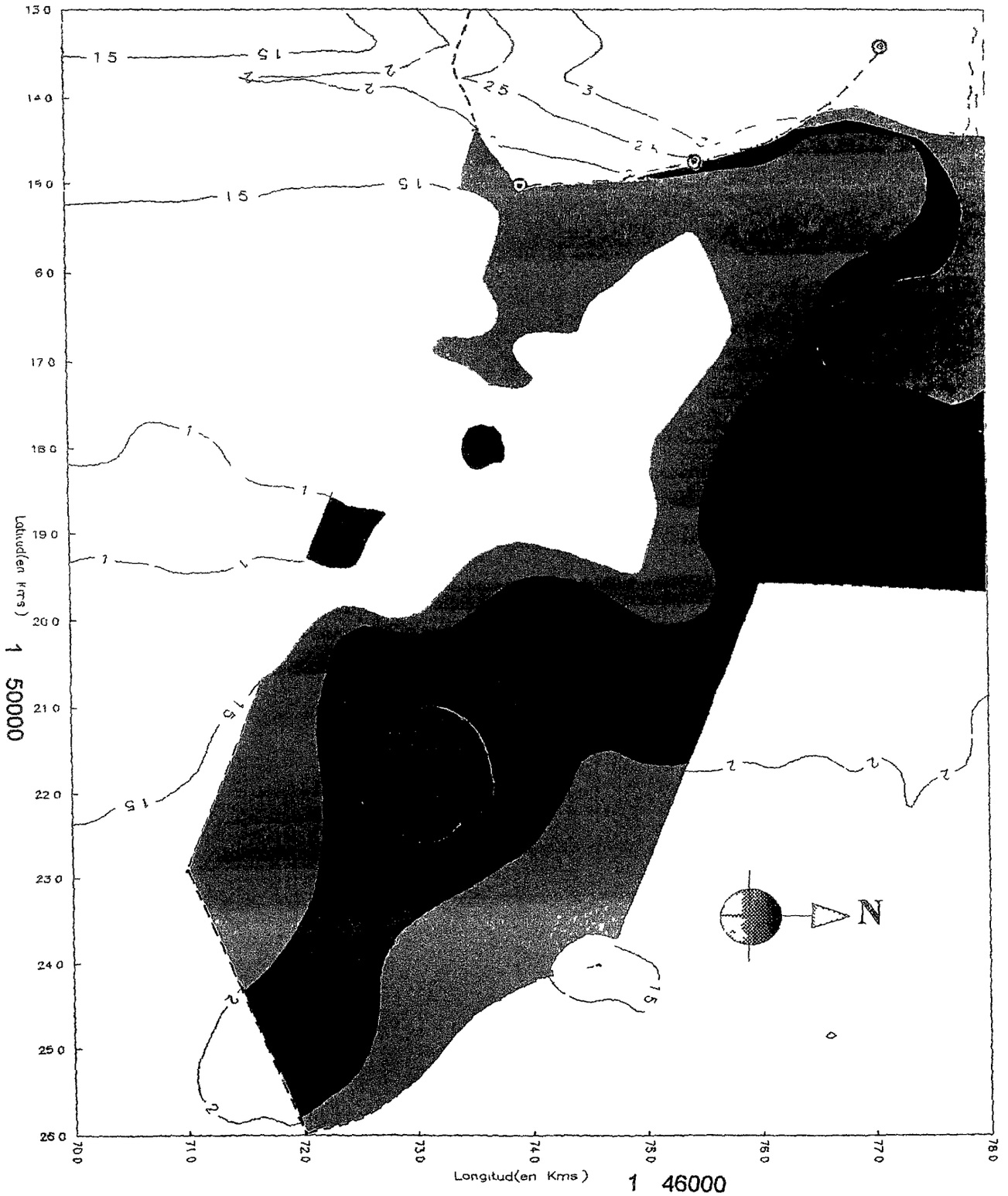


Figura **16** Mapa de isolineas de profundidad del nivel de saturación del Cantón San José Llanga Las lineas representan la profundidad en metros respecto a la superficie de la capa de saturacion

hombre (utilizacion del agua de pozos, riego) y las caracteristicas hidrogeológicas propias del lugar

Elaboración del mapa de isopiezas

Las isopiezas son las líneas que unen los niveles freáticos con iguales cotas o alturas sobre el nivel del mar Para elaborar este mapa se obtuvieron las cotas de 40 puntos con un nivel topográfico a partir de dos cotas conocidas, determinadas y monumentadas por el IGM

Una vez obtenida la cota del pozo, se obtiene la cota del nivel freático restando la distancia desde la superficie (punto de referencia) hasta el nivel de agua De esta manera se obtuvo la cota del nivel freatico en cualquier época del período de estudio

Con las cotas de los minimos niveles freáticos de cada pozo, además de su latitud y longitud respectiva, utilizando el paquete "Surfer" se elaboró el mapa de isopiezas de mínimos niveles freaticos (figura 17)

Analizando el mapa de isopiezas se identifica lo siguiente

- Las zonas de aportación o recarga son la contigua al Rio Khora Jahuira, la zona de Wilki cuya aportacion sigue el curso del ahora inexistente Río Challwan Jahuira y la zona de Choconimaya (canal de riego)

- La zona de acumulación, claramente se identifica en la denominada Wila Jahuira Pampa, que es la que presenta la napa freática más cerca de la superficie durante la mayor parte del año

- El mayor gradiente hidráulico, se presenta en la zona aledaña al Río Khora Jahuira Esto puede identificarse por la mayor densidad de curvas Isopiezas

Por lo tanto la zona de recarga más importante es la aledaña al Río Khora Jahuira Le sigue en importancia la de Wilki y por último la de Choconimaya

Calidad del agua subsuperficial

1 Mapa de conductividad eléctrica del agua subsuperficial

Puesto que la superficie del área de estudio era extensa y el número de muestras a obtenerse para su caracterización fisico-química limitado, se utilizó como parámetro básico de calidad del agua la conductividad eléctrica por la facilidad de medición y porque nos indica la salinidad del agua Con la media anual de conductividad electrica del agua de cada pozo permanente y las mediciones de conductividad eléctrica del agua en los pozos no permanentes y barrenaciones de observación, cada grupo de datos con su respectiva latitud y longitud y utilizando el paquete Surfer se elaboró el mapa de conductividad eléctrica del agua subsuperficial del cantón San José Llanga (figura 18)

Se observa que las aguas con menor conductividad eléctrica se encuentran en las zonas aledañas a las de recarga (Rio Khora Jahuira y zona de Wilki) Las que tienen

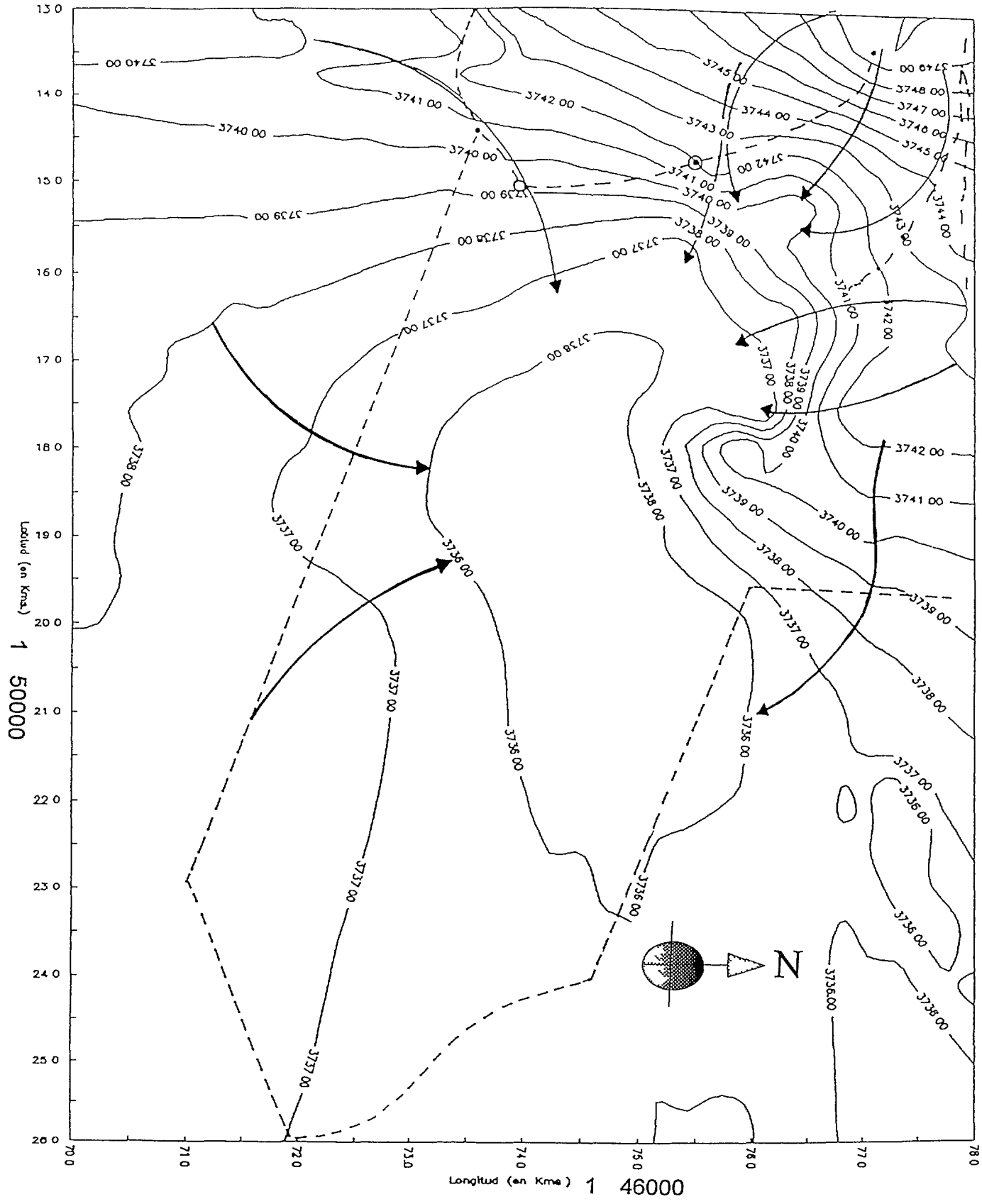


Figura 17 Mapa de isopiezas del agua subsuperficial del Canton San Jose Llanga Las lineas representan la altura sobre el nivel del mar en metros Las flechas representan las lineas de corriente

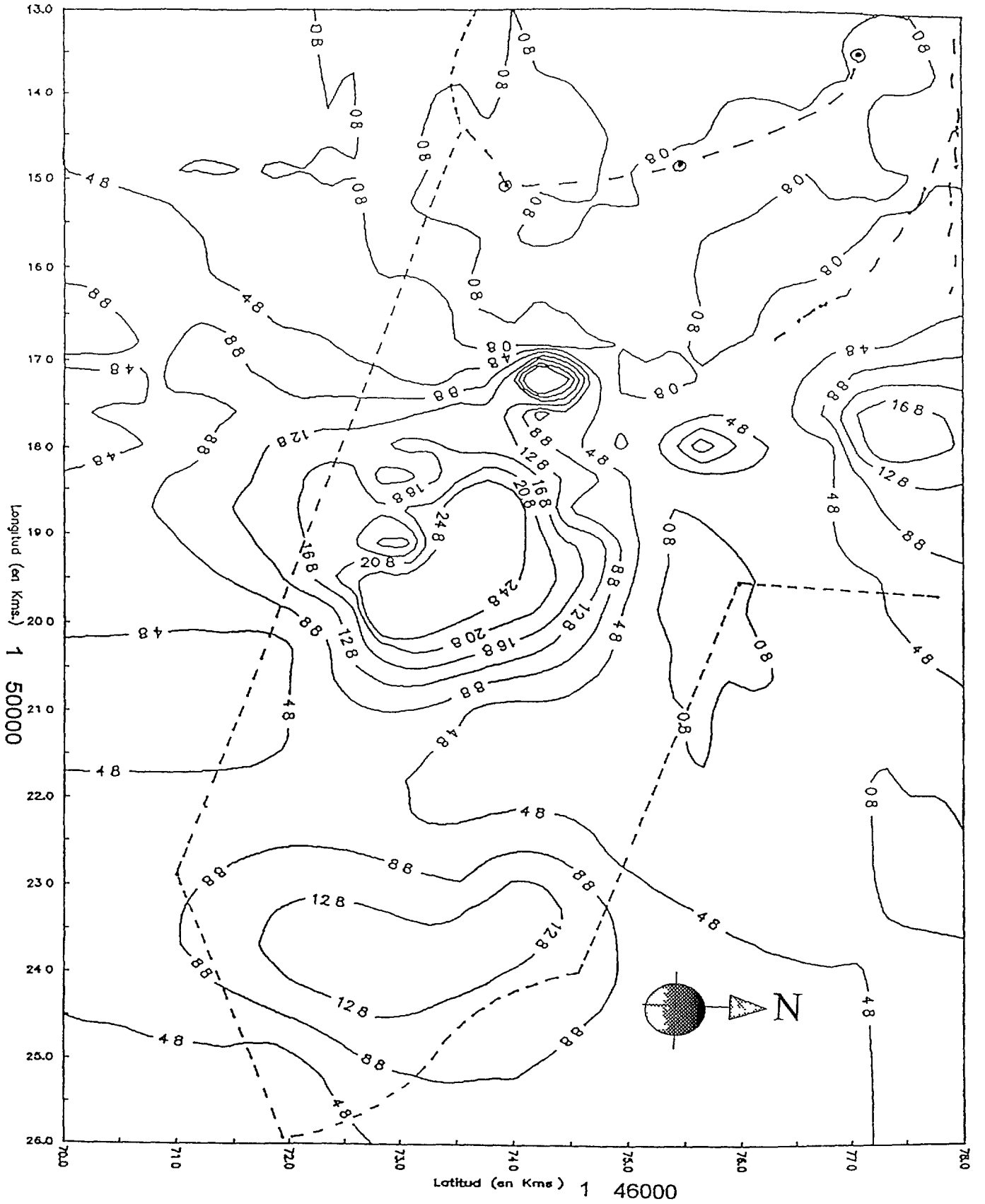


Figura **18** Mapa de conductividad electrica del agua subsuperficial del Canton San Jose Llanga Las lineas representan las isolineas de conductividad electrica del agua en mS/cm

conductividades elevadas se localizan en Wila Jahuira Pampa hasta con 30 mS/cm y una zona intermedia en Choconimaya

Calidad del agua subsuperficial para uso en riego y ganado

En base al mapa de conductividad eléctrica, se obtuvo muestras para su caracterización físico-química de las zonas que presentaban conductividades eléctricas bajas (0-3 mS/cm) y que ofrecian perspectivas de uso para riego De las aguas con valores superiores sólo se obtuvo algunas muestras, pues la conductividad eléctrica ya es suficiente para clasificarlas como no aptas para riego Para obtener las muestras de los pozos, se vaciaron completamente 24 horas antes, para evitar el efecto de la evaporación y el agua muestreada sea mas representativa

Las muestras para caracterizacion físico-química se obtuvieron en dos grupos El primer grupo fue obtenido en noviembre de 1992 (descarga) y el segundo en abril de 1993 (recarga) Para clasificar el agua subsuperficial para su uso en riego se empleo la metodología propuesta por la Organizacion de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 1987) y de acuerdo a la clasificación realizada se elaboró el mapa de calidad de agua para uso en riego del agua subsuperficial del cantón San José Llanga (figura 19)

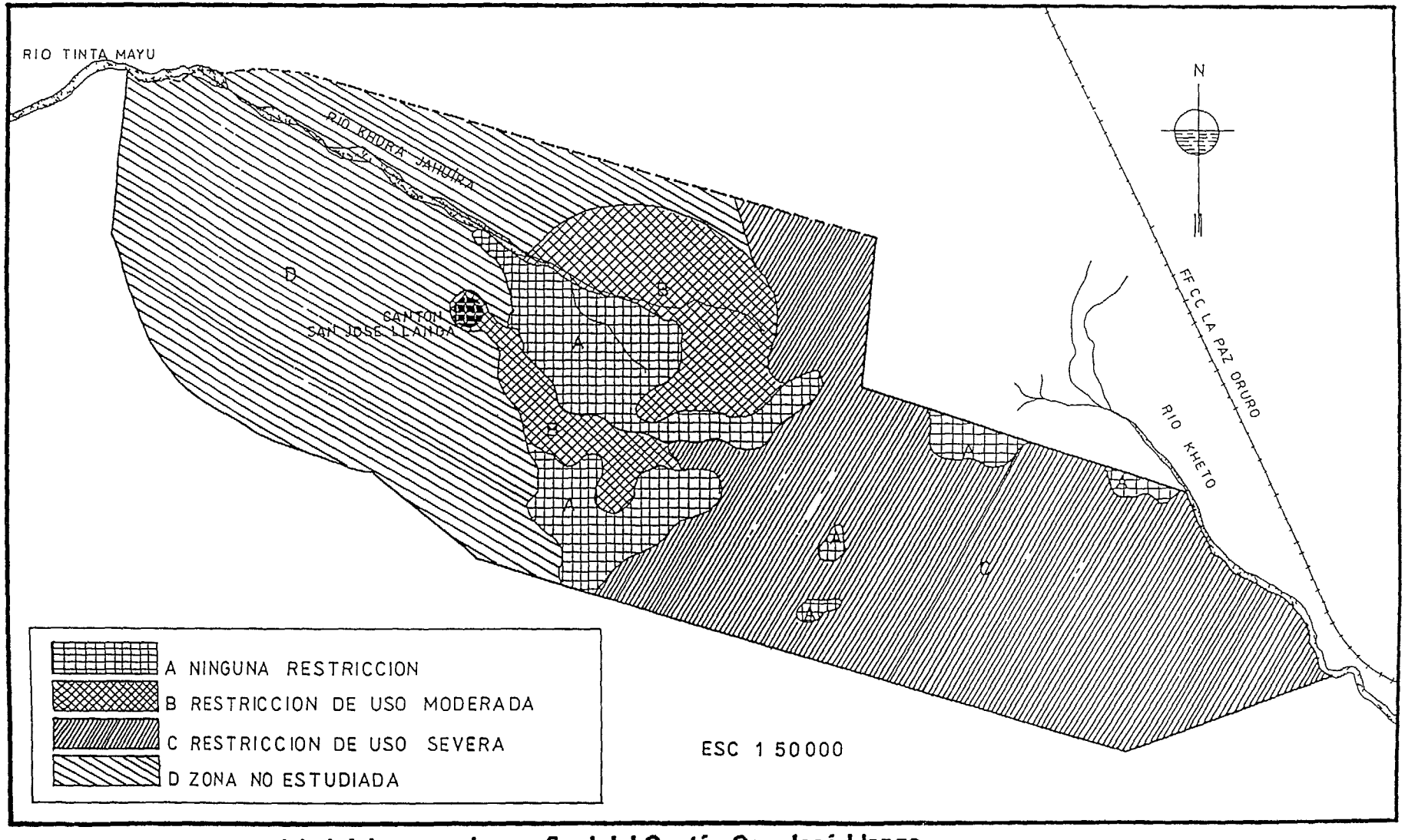


Figura 19 Mapa de calidad del agua subsuperficial del Cantón San José Llanga para uso en riego según Ayers y Westcot (1987)

Conclusiones

Recursos hídricos superficiales

- Los datos pluviométricos de la estacion meteorológica de Patacamaya son consistentes y homogeneos

- Los datos pluviometricos de la estacion meteorologica de Sica Sica son inconsistentes y heterogéneos

- La precipitación media anual estimada para San José Llanga es de 402 mm anuales, de los cuales el 79% ocurre en los meses de noviembre a marzo

- La distribucion normal es la que mejor se ajusta a los datos de precipitación estimados para San José Llanga

- La precipitacion minima en San José Llanga con probabilidad de excedencia de 80% para el período vegetativo (de octubre a abril) es de 182 mm Enero es el mes de mayor precipitación con 63 mm

- El Río Khora Jahuira es una fuente de recurso hídrico superficial que es producto del escurrimiento de la precipitación La ecuación que vincula el caudal diario (Y, en litros/s) con la precipitación diaria en San José Llanga (X, en mm) es la siguiente

$$Y = 5\,97 + 195\,88X - 25\,88X^2 + 1\,38X^3$$

  Esta ecuación es válida a partir de 1 mm de precipitación

- La única limitante de las aguas del Río Khora Jahuira para su uso en riego es su alto contenido de material en suspensión (14,545 7 mg/l en enero y 2,1181 2 mg/l en marzo) debido a la energía cinética que adquiere el agua

- El canal de riego con aguas provenientes del Río Desaguadero tiene una eficiencia de conducción de 65 7% hasta la zona irrigada de San José Llanga (Choconimaya) en 15 4 Kms de recorrido La mayor pérdida de caudal está localizado en el tramo comprendido entre la curva de Umamuyta y P'iti (1 95 km) con un 12 8 % del caudal total

- Las limitantes de las aguas del Río Desaguadero para uso en riego son su elevado contenido de sodio y cloruros Esto las hace no recomendables para estos suelos que tienen su nivel freático cercano a la superficie (1 6 m) y el agua subsuperficial es de peor calidad que la que viene por el canal de riego

- El déficit hídrico durante todo el año es la condición prevalente (4 de cada 5 años) En el año de estudio la distribución de la precipitación fue diferente No obstante, el deficit hidrico anual fue similar al prevalente

Recursos hídricos subsuperficiales

- El agua subsuperficial se encuentra en toda el área de estudio, la profundidad a la que se encuentra el nivel de saturación (suelo saturado) es variable, de 1 metro en Wila Jahuira Pampa hasta 3 5 metros en Anumarca

- La profundidad del nivel freatico y piezométrico varía de acuerdo a la hidrología superficial, fluctuando desde 0 6 metros hasta 2 6 metros en epoca de descarga (octubre y noviembre) y de 0 3 metros hasta 2 5 metros en epoca de recarga (marzo y abril)

- El nivel freático en la zona irrigada (Choconimaya) varía de acuerdo a la apertura del canal de riego Tiene su minimo nivel el mes de julio, antes de la apertura del canal de riego, y el maximo nivel freatico se presenta el mes de septiembre debido a la recarga de agua mediante el canal de riego

- Las zonas de recarga del acuífero freático están ubicadas en las siguientes zonas la aledaña al Rio Khora Jahuira con mayor gradiente hidraulico que las zonas de Wilki y Choconimaya

- La calidad del agua subsuperficial varía Las aguas de mejor calidad para uso en riego sin limitaciones están próximas a las zonas de recarga, aledañas al Río Khora Jahuira , Wilki y Jalantaya Las aguas de peor calidad no adecuadas para su uso en riego se localizan en el margen izquierdo del Río Khora Jahuira, Wila Jahuira y en Choconimaya

Recomendaciones

Recursos hídricos superficiales

- Debe aprovecharse de mejor manera el agua proveniente de la precipitación en los meses de mayor precipitacion con probabilidad de excedencia de 80% (enero a marzo) realizando la "cosecha del agua" mediante estanques que permitan su almacenamiento

- Aprovechar el agua del Río Khora Jahuira disminuyendo su energia cinetica para que los solidos en suspensión sedimenten Puesto que el caudal del río depende de la precipitación, este puede presentarse con mayor caudal aprovechable el mes de enero (63 mm, probabilidad de excedencia de 80%)

- Estudiar la conveniencia del uso de las aguas del Río Desaguadero de acuerdo a las características de los suelos y necesidad de lavado de sales en la zona

- Revestir el canal de riego K'ala Umaña para evitar las pérdidas por infiltración y la contaminacion de los acuíferos freáticos lo que posibilitaria una mejor distribucion de este recurso hídrico entre las cuatro comunidades que lo utilizan

Recursos hídricos subsuperficiales

- Excavar pozos más profundos en las zonas que tienen mejor calidad de agua y realizar ensayos de bombeo para determinar su rendimiento efectivo

- Aprovechar el agua subsuperficial en las zonas que tienen agua de buena calidad mediante la implementación de bombas manuales para riego de invernaderos o pequeñas parcelas, construcción de lagunas para abrevar el ganado y para el cultivo de algas fijadoras de nitrógeno

Bibliografía

ALZERRECA, H Y LARA, R (1987) Evaluación de praderas nativas en Altiplano Central y Oeste del departamento de Oruro En Primera Reunion Nacional en Praderas Nativas en Bolivia Corporación de Desarrollo de Oruro (CORDEOR), Comunidad Europea Económica (CEE) y Programa de Autodesarrollo Campesino (PAC) Oruro, Bolivia pp 3-11

AYERS, R Y WESTCOT, D (1987) La calidad del agua en la agricultura Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (UN FAO) Roma, Italia 174 p

CIASER (Centro de Investigación Aplicada en Recursos Remotos)/GEOBOL (Geobologia Bolivia) (1985) Suelos En Estudio integrado de los recursos naturales del Departamento de La Paz Corporación de Desarrollo del Departamento de La Paz (CORDEPAZ) La Paz, Bolivia 200 pgs

de MORALES, C (1990) Bolivia Medio ambiente y ecología aplicada Instituto de Ecología de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) La Paz, Bolivia pp 65-69

DOOREMBOS, J Y PRUITT, W (1976) Las necesidades de agua de los cultivos Organización de las Naciones Unidas para La Agricultura y la Alimentación (UN FAO) Roma, Italia 181 p

GUMIEL, D (1988) Prospección Hidrogeológica del Area Altiplánica del PMPR II PMPR II-CEE-CORDEPAZ La Paz, pp 23-30

INTECSA (1993) Plan Director Global Binacional de Protección-Prevención de Inundaciones y Aprovechamiento de los Recursos del Lago Titicaca, Río Desaguadero, Lago Poopó y Lago Sal de Coipasa (Sistema T D P S) volumen B, Capítulo III Convenios ALA/86/03 y ALA/87/23 - Perú y Bolivia Comunidad Europea Económica La Paz, Bolivia

LORINI, J Y LIBERMAN M (1983) El clima de la provincia Aroma del departamento de La Paz-Bolivia En Ecología en Bolivia N° 4 Revista del Instituto de Ecología, pp 19-29

MONTAÑO, J (1990) Campos de precipitacion Instituto de Hidraúlica e Hidrología La Paz, Bolivia 130 pgs

ORSTOM, (1994) HIDROM 3 1 Programa de banco de datos hidrometricos Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM) 900 pgs

PAREDES, L (1971) Guía y notas técnicas para medición de caudales Proyecto Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)/OMM BOL-26 de "Desarrollo y mejora de los servicios meteorológicos e hidrológicos" La Paz, Bolivia 129 pgs

PEÑA, J , SALAS, E Y CORTEZ, J (1993) Hidrologia y modelizacion de la cuenca del Río Desaguadero (Bolivia) Sistema Hidrológico del Altiplano Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID-Canadá) La Paz, Bolivia 167 pgs

QUINTANILLA, J , GUMIEL, D Y GUYOT, J (1991) Evaluacion preliminar de la hidrogeología e hidrogeoquimica del Norte del Altiplano Boliviano Rev Boliviana de Química 10(1) pp 59-64

QUINTANILLA, J (1994) Evaluacion hidroquimica de la cuenca de los Lagos Uru Uru y Poopo En Seminario Taller Regional Sobre el Lago Poopó, Oruro, Bolivia 13 p

RIBSTEIN-COUDRAIN, A (1994) Salinity and isotopic dynamics of groundwater resouerces in the Bolivian Altiplano En Application of Tracers in Arid Zone Hidrology Vienna, Austria, agosto 1994

THOM, H C S (1966) Some methods of climatological analysis Tech Note N° 81, W M O N° 199 Geneva, Switzerland

UNESCO (United Nations Economic, Scientific and Cultural Organization) (1982) Guía Metodológica para la Elaboración del Balance Hídrico de America del Sur UNESCO, Montevideo Uruguay 130 pgs

VACHER, J , IMAÑA, E Y CANQUI, E (1994) Las características radiactivas y la evapotranspiración potencial en el Altiplano Boliviano En Revista de Agricultura de la Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia pp 4 - 11

VILLALPANDO, F (1986) Cálculo de probabilidades de fenómenos meteorológicos diversos Proyecto BOL/86/029/OMM/PNUD Apoyo Agrometeorológico a la Producción Agrícola La Paz Bolivia 180 pgs