

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/29486895>

Agua, Gas y Agroindustria: Gestión Sostenible de Agua para Riego Agrícola en Santa Cruz, Bolivia


Article · January 2007

Source: OAI

CITATIONS


0

3 authors, including:



 **Thomas Cochrane**
University of Canterbury
114 PUBLICATIONS 1,948 CITATIONS
[SEE PROFILE](#)

READS

178

 **Timothy J Killeen**
Agteca Amazonica
189 PUBLICATIONS 13,316 CITATIONS
[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:

-  Kinetic energy of rainfall as driving force of soil detachment and transport [View project](#)
-  Increasing the uptake of water sensitive urban design (WSUD) [View project](#)

Oswaldo Rosales

Oswaldo Rosales Ayala es ingeniero hidrogeólogo. Desde 1985 hasta 2006, se desempeñó como catedrático en la Carrera de Ingeniería Civil de las universidades Católica y Gabriel René Moreno de Santa Cruz. Asimismo, de ésta última fue Jefe de Laboratorio.

Entre los años 1974 y 1983, Rosales hizo cursos de especialización en evaluación y desarrollo del recurso agua subterránea, en Alemania y Japón.

Fue también delegado de la Asociación Latinoamericana de Hidrología Subterránea (ALHSUD) en Bolivia y asesor de diferentes entidades en temas de hidrología subterránea, construcción y fiscalización de pozos para agua.

Ing. Oswaldo Rosales A.
Consultor y asesor en hidrología subterránea
E-mail: a_o_rosales@hotmail.com



AGUA GAS Y AGRO INDUSTRIA GESTIÓN SOSTENIBLE DE AGUA PARA RIEGO AGRÍCOLA EN SANTA CRUZ • BOLIVIA •

Thomas A. Cochrane

Timothy J. Killeen

Oswaldo Rosales



Thomas A. Cochrane

Thomas A. Cochrane Fajardo es ingeniero agrícola e hidrólogo. Sus intereses profesionales incluyen el desarrollo agrícola sostenible y la minimización de impactos ambientales.

Nacido en Santa Cruz, es hijo de Thomas T. Cochrane, un reconocido ingeniero agrónomo, especialista en suelos, quien lo influyó con sus numerosas contribuciones para el desarrollo agrícola sostenible en Bolivia y la conservación de la Amazonía.

Con la presente publicación, Thomas A. Cochrane desea inspirar al sector agrícola de Santa Cruz a mejorar su productividad y, al mismo tiempo, preservar la riqueza hídrica y ecológica de la región.

Actualmente se desempeña como catedrático en ingeniería de recursos naturales en el departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Canterbury en Christchurch, Nueva Zelanda y participa en varios proyectos internacionales relacionados al desarrollo sostenible de recursos naturales.

Dr. Ing. Thomas A. Cochrane, PhD
Consultor de Agteca S.A. Santa Cruz, Bolivia
Dept. of Civil Engineering
University of Canterbury,
Christchurch, New Zealand
E-mail: tom.cochrane@canterbury.ac.nz

Timothy J. Killeen

Timothy J. Killeen es un científico norteamericano con más de 20 años de residencia en Bolivia. Durante su larga trayectoria profesional se ha dedicado a la investigación básica en temas relacionados a la botánica, ecología y geografía. Sabiendo que la investigación debe responder a la necesidades de la sociedad, Killeen ha prestado su conocimiento a diferentes proyectos de desarrollo para mitigar los impactos ambientales relacionados a la construcción de gasoductos y carreteras. Con la presente publicación, busca apoyar la productividad agrícola en el departamento de Santa Cruz, a tiempo de proteger sus recursos hídricos.

Dr. Timothy J. Killeen, PhD
CABS, Conservation International
E-mail: t.killeen@conservation.org

AGUA GAS Y AGRO INDUSTRIA GESTIÓN SOSTENIBLE DE AGUA PARA RIEGO AGRÍCOLA EN SANTA CRUZ • BOLIVIA •

CONTENIDO:

- Potencial de las fuentes de agua subterránea y superficial.
- Temas de conservación de agua para zonas de alto riesgo ecológico.
 - Sistemas de riego agrícola, zonificación y economía.
- Gas y otras alternativas como fuente energética para el desenvolvimiento del riego agrícola.

El contenido del presente libro es de responsabilidad de sus autores y no compromete la opinión de Conservación Internacional ni de los otros financiadores.
Los límites de mapas presentados en este texto son sólo referenciales y por tanto no tienen valor legal alguno.

Esta investigación fue posible gracias al apoyo financiero y en especie de Conservación Internacional-Bolivia, de CI-CABS (*Center for Applied Biodiversity Science*), Transredes S.A., Gas TrasBoliviano S.A., Agteca S.A, *Wildlife Conservation Society*, Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado-Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Capitanía de Alto y Bajo Izozog y la *University of Canterbury* de Nueva Zelanda.

La publicación del presente libro estuvo a cargo de Conservación Internacional-Bolivia.

Primera edición: 2006
Depósito Legal:
Cuidado de la edición: Fátima Molina C.
Mery Ruth Mariaca Z.
Diseño y diagramación: Molina&Asociados
Editores: Conservación Internacional-Bolivia
Calacoto, Calle 13 N° 8008
Telf.: 2797700 • Fax: 2114228
La Paz - Bolivia
Web: www.conservation.org.bo
E-mail: ci-bolivia@conservation.org
Fotos portada: © Hermes Justiniano
Fotos interior: © Robert Reynolds (Fig. 3.7, 6.8, 6.9 y 6.12)
© Osvaldo Rosales (Fig. 2.18, 2.19, 2.20, 2.21, 5.19, 5.20, 6.10 y 6.11)
Mapas y tablas: Thomas A. Cochrane
Timothy J. Killeen (sólo capítulo 7)

A Oscar Castillo, por su apoyo en la parte inicial del estudio.

A Stephan Halloy y Morris Israel, por sus comentarios y observaciones que resultaron muy útiles para mejorar este texto.

A Michael Painter, funcionario de *Wildlife Conservation Society*, y a Tony Henshaw, por coordinar el apoyo financiero del estudio por parte de Transredes y GTB, así como por su aporte en el desarrollo de la investigación.

A Eduardo Forno y al personal de Conservación Internacional-Bolivia por su apoyo en la producción de este texto.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Antecedentes	1
1.2.	Descripción del estudio y objetivos	2
1.2.1.	Descripción del estudio	2
1.2.2.	Objetivos	2
1.3.	Área de estudio	4
1.4.	Informaciones y mapas temáticos	5
1.4.1.	Imagen satelital y pozos	5
1.4.2.	Mapa topográfico	6
1.4.3.	Mapas de vegetación	6
1.4.4.	Mapa de aptitud agrícola	7
2.	AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	11
2.1.	Definiciones hidrogeológicas	11
2.2.	Consideraciones fisiográficas y suelos	15
2.2.1.	Fisiografía	15
2.2.2.	Suelos.....	17
2.3.	Características geológicas, estratigráficas y litológicas	18
2.3.1.	Consideraciones geológicas y geomorfológicas	18
2.3.2.	Perfiles litológicos de los pozos en la región de estudio	23
2.4.	Consideraciones sobre los depósitos de agua subterránea	33
2.5.	Perforación de pozos y costos	37
3.	HIDROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA.....	39
3.1.	Factores hidrológicos	39
3.1.1.	Características hidrológicas de la cuenca del Río Grande	39
3.1.2.	Características hidrológicas de la cuenca del río Parapetí	42
3.1.3.	Características hidrológicas de la cuenca del río Piraí	43
3.2.	Factores climatológicos	43
3.2.1.	Precipitación	44
3.2.2.	Temperatura, humedad relativa y vientos	47
3.2.3.	Evapotranspiración	50
3.3.	Recarga de acuíferos por precipitación y por ríos	51
3.4.	Factores hidráulicos para aguas subterráneas	53
4.	CALIDAD DEL AGUA	55
4.1.	Calidad del agua superficial	56
4.2.	Calidad del agua subterránea	57
4.3.	Riesgos de contaminación del agua subterránea y superficial	59

5.	RIEGO AGRÍCOLA.....	61
5.1.1.	Proyectos de riego nacional	64
5.1.2.	Iniciativas privadas de riego	64
5.2.	Requerimientos de riego	66
5.2.1.	Cálculo del déficit de lluvia	66
5.3.	Fuentes de energía para riego agrícola	67
5.3.1.	Combustibles y electricidad	67
5.3.2.	Empresas que trabajan en la distribución de gas	70
5.4.	Bombas de riego	70
5.4.1.	Fuentes energéticas para bombas	72
5.4.2.	Determinación de la potencia de la bomba	73
5.4.3.	Sistema de bombeo por viento	74
5.5.	Sistemas de riego	75
5.5.1.	Sistemas de riego por aspersión	75
5.5.2.	Sistemas de riego por superficie	77
5.5.3.	Sistemas de micro riego	79
5.5.4.	Eficiencia y vida útil de los sistemas de riego	81
5.5.5.	Costos de los sistemas de riego	82
5.6.	Economía agrícola y cultivos de la región	84
5.6.1.	Producción y precios de la soya	86
5.6.2.	Producción y precios de otros cultivos	88
5.6.3.	Producción ideal con riego	95
6.	ZONIFICACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA Y POTENCIAL DE RIEGO.....	97
6.1.	Características de cada zona	98
6.1.1.	Análisis comparativo de los datos meteorológicos	99
6.1.2.	AP: Área protegida sedimentaria del Chaco	101
6.1.3.	BI: Bañados de Izozog	101
6.1.4.	GU: Arenales de Guanaco	102
6.1.5.	IG1, IG2, IG3: Área de influencia del Río Grande	103
6.1.6.	PI1, PI2, PI3: Áreas norte alrededor del río Piráí	104
6.1.7.	PM1, PM2, PM3: Pie de monte	105
6.1.8.	RG1, RG2, RG3: Aluviales antiguos del Río Grande	107
6.1.9.	RP: Aluviales del río Parapetí	109
6.1.10.	SC: Arenales del sur de Santa Cruz	110
6.1.11.	Disponibilidad y déficit de agua en cada zona	111
6.2.	Modelos económicos y factibilidad del riego	112
6.2.1.	Ejemplo de riego en la zona del Parapetí	112
6.2.2.	Comparación de variables económicas para determinar la factibilidad del riego extensivo en las zonas RP, RG1, RG2 y RG3	115
6.3.	Disponibilidad y consumo de agua subterránea para riego	119
6.4.	Utilización de aguas superficiales en las regiones RP, IG1, IG2 e IG3	121
7.	TEMAS AMBIENTALES Y DE CONSERVACIÓN	123
7.1.	Principios generales sobre el manejo y la conservación de cuencas	123
7.2.	Conservación de la biodiversidad como objetivo de la conservación de cuencas	124
7.3.	Identificación de impactos y riesgos relacionados con el uso agrícola del agua	125

8.	RECOMENDACIONES SOBRE RIEGO AGRÍCOLA, TEMAS HÍDRICOS E IMPACTOS AMBIENTALES	131
8.1.	Zonificación	131
8.2.	Agua subterránea y superficial	133
8.3.	Monitoreo	133
8.4.	Riego agrícola	133
8.5.	Recomendaciones para la región sur de TCO, Parque Nacional Kaa-Iya y humedales (unidades: AP, BI, GU, RP)	134
8.6.	Recomendaciones para la mitigación de los impactos ambientales	136
9.	REFERENCIAS	139
9.1.	Publicaciones	139
9.2.	Instituciones	141
10.	ANEXOS.....	143
10.1.	Contenido del CD anexo	143
10.2.	Datos económicos de producción agrícola	144
10.3.	Informaciones adicionales climatológicas y geológicas	147
10.4.	Datos de pozos	151
10.5.	Datos de riego	158
10.6.	Coeficientes de cultivo (Kc) para cálculo de necesidades de agua para cultivos típicos	159

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Mapa mostrando el área de estudio dentro de la llanura cruceña y las estructuras fisiográficas sobre un mapa topográfico DEM de esta región.	3
Figura 1.2. Mapa cartográfico regional delimitando el área de estudio.	4
Figura 1.3. Ubicación de pozos utilizados en el estudio sobrepuestos en una imagen satelital LandSat de 1991.....	5
Figura 1.4. Modelo de elevación digital (DEM-NASA STRM 90m) con elevación de pozos	6
Figura 1.5. Clasificación de vegetación de la región.....	7
Figura 1.6. Interpretación de la imagen LandSat para obtener un mapa temático de la vegetación de la región sur	8
Figura 1.7. Aptitud agrícola conforme el estudio del PLUS 1996	9
Figura 2.2. Pozo en región de acuífero libre o semi-confinado	12
Figura 2.1. Geometría y símbolos de bombeo en pozos mostrando los conos de depresión y niveles potenciométricos	12
Figura 2.3. Flujo de aguas subterráneas mostrando valores de residencia de agua	13
Figura 2.4. Ejemplo de cómo el bombeo continuo de agua de pozos cerca de ríos o lagos puede secar al río o lago.....	14
Figura 2.5. Ejemplo de cómo el nivel del acuífero puede bajar excesivamente después del bombeo continuo de agua si hay alguna barrera o formación geológica limitante en el acuífero	14

Figura 2.6. Mapa fisiográfico PLUS.....	16
Figura 2.7. Ejemplo de textura de suelos de la región norte de Santa Cruz.....	17
Figura 2.8. (a) Mapa estructural de Bolivia	18
Figuras 2.8. (b) Columna estratigráfica de la región subandina sur	19
Figura 2.8. (c) Mapa geológico de Bolivia	19
Figura 2.9 . Mapa mostrando dos cortes geológicos de la región; al norte y al sur	20
Figura 2.10. Corte geológico del subsuelo norte derivado de perforaciones de pozos pretolíferos (B-B´).....	20
Figura 2.11. Corte geológico del subsuelo sur mostrando estratigrafía de la región (A-A´)	21
Figura 2.12. Descripción básica de tres zonas predominantes de la región de estudio.....	22
Figura 2.13. Ubicación de pozos con información litológica detallada.....	24
Figura 2.14. Distribución de pozos en la localidad Tita (cerca de los Bañados de Izozog)	31
Figura 2.15. Perfiles litológicos de pozos para agua de estudio Abapó-Izozog presentado en la publicación de Lutz Werding (1977).....	33
Figura 2.16. Profundidad del nivel estático calculado computacionalmente utilizando información de pozos.....	35
Figura 2.17. Superficie de nivel estático calculado utilizando DEM y datos de pozos.....	36
Figura 2.18. Diseño de pozo mediante muestreo de sedimentos y perfilaje eléctrico	37
Figura 2.19. Instalación de tubería.....	37
Figura 2.20. Instalación de grava en pozos	37

Figura 2.21. Desarrollo de pozo.....	37
Figura 3.1. Mapa mostrando estaciones metereológicas con valores de precipitación anual	44
Figura 3.2. Precipitación media anual.....	45
Figura 3.3. (a) Variación de precipitación en el mes de enero y estaciones mostrando medias de velocidad de vientos	45
Figura 3.3. (b) Variación de precipitación en el mes de abril y estaciones mostrando medias de velocidad de vientos	46
Figura 3.3. (c) Variación de precipitación en el mes de julio y estaciones mostrando medias de velocidad de vientos	46
Figura 3.3. (d) Variación de precipitación en el mes de octubre y estaciones mostrando medias de velocidad de vientos	47
Figura 3.4. Isotermas mostrando temperatura media anual en la región	48
Figura 3.5. Medias mensuales de evapotranspiración potencial (ET _o).....	51
Figura 3.6. Recarga por precipitación (infiltración lenta) y pérdida de agua por evapotranspiración.....	51
Figura 3.7. a) Recarga del acuífero por ríos	52
Figura 3.7. b) Recarga del acuífero por ríos (infiltración rápida) y pérdida por evaporación	52
Figura 4.1. Ejemplo de distribución vertical del agua subterránea en la llanura cruceña	57
Figura 4.2. Interpolación de valores de conductividad eléctrica (microhmios/cm) de pozos seleccionados.....	58
Figura 5.1. Diseño y operación de sistemas de riego para determinar factibilidad de riego	61
Figura 5.2. Áreas de prioridad de riego según el Programa Nacional de Riego (PRONAR)	62

Figura 5.3.	
Proyectos de riego en las provincias de Cordillera, Andrés Ibañez y Chiquitos	63
Figura 5.4.	
Identificación de cuatro localidades de riego por pivote central en la zona de expansión agrícola al este de Río Grande mediante imagen de satélite LandSat, 2001	65
Figura 5.5.	
Mapa de deficiencia de agua por precipitación en el departamento de Santa Cruz	66
Figuras 5.6.	
Consumo anual de diesel para el cultivo de soya en Santa Cruz	68
Figura 5.7.	
Consumo anual de diesel para el cultivo de trigo en Santa Cruz.....	68
Figura 5.8.	
Distribución y almacenamiento de GLP o gas natural comprimido para uso rural	70
Figura 5.9.	
Tres tipos de bombas comúnmente utilizadas para riego agrícola	71
Figura 5.10.	
Ejemplo de sistema de bombeo de pozos profundos con motor externo para riego (pivote central)	71
Figura 5.11.	
Sistemas mecánicos de bombeo por viento	74
Figura 5.12.	
Sistema eléctrico de bombeo por viento	75
Figura 5.13.	
Materiales utilizados en la construcción de sistema de pivote central	76
Figura 5.14.	
Sistemas de riego por pivote central.....	76
Figura 5.15.	
Imagen de satélite mostrando detalle de sistema de riego con pivote central en tierras bajas este de Santa Cruz	76
Figura 5.16.	
Sistema de avance frontal con canales con (a) bombeo con combustible y (b) bombeo eléctrico.....	77
Figura 5.17.	
Sistema de avance frontal con mangueras	77
Figura 5.18.	
Sistemas de mangueras y cañones de agua	77

Figura 5.19.	
Desvío del Río Grande para riego superficial	78
Figura 5.20.	
Canal de riego con compuerta repartidora.....	78
Figura 5.21.	
Riego superficial por surcos utilizando mangueras y bomba	78
Figura 5.22.	
Riego por caudal discontinuo	79
Figura 5.23.	
Sistemas de micro-riego extensivos.....	79
Figura 5.24.	
Componentes típicos de micro-riego.....	79
Figura 5.25.	
Diferentes tipos de mangueras con micro-poros	80
Figura 5.26.	
Perímetro de aplicación de agua por mangueras de micro-riego con micro-poros con respecto a diferentes tipos de suelos	80
Figura 5.27.	
Localización de emisores de micro-riego para la eliminación de sales del suelo o agua de la zona de raíces de cultivo.	81
Figura 5.28.	
Sistema LEPA para aplicación de agua	83
Figura 5.29.	
Configuración de sistema de riego por pivote central movible en área total de 200 ha.	84
Figura 5.30.	
Precio de la soya en la Comunidad Andina para aceite crudo y soya en grano	87
Figura 6.1.	
Zonificación para riego en base de disponibilidad de agua, variaciones climáticas, aptitud agrícola y factores fisiográficos	98
Figura 6.2.	
Precipitación media anual con barras de error mostrando medias altas y bajas en cada zona.	99
Figura 6.3.	
Evapotranspiración potencial estimada para zonas de la región.	100
Figura 6.4.	
Imagen de satélite LandSat 2001 y DEM mostrando los relieves en colores y la ubicación de la región de influencia a la Laguna Concepción	102

Figura 6.5. Esquema de la zona de Arenales de Guanaco	103
Figura 6.6. Artículo del periódico que informa sobre problemas por inundaciones en la zona IG2.....	103
Figura 6.7. Artículo del periódico que informa sobre consecuencias de las inundaciones en la zona IG1	103
Figura 6.8. Zonas de inundación potencial (alagamiento) en la unidad IG3	104
Figura 6.9. PI3 – zona norte de expansión agrícola	104
Figura 6.10. Foto de la unidad PM1 con el sub-andino en el fondo.....	105
Figura 6.11. Pequeños atajados en la región PM1 y PM2	107
Figura 6.12. Unidad de pie de monte PM3.....	107
Figura 6.13. Fotos de la unidad RG2 cerca de la línea férrea Santa Cruz – Puerto Quijarro (Puerto Suárez)	108
Figura 6.14. Zona SC sur de la ciudad de Santa Cruz.....	110
Figura 6.15. Comparación de uso de diferentes combustibles versus posibles ingresos de agricultura bajo riego con sistema pivote central	117
Figura 6.16. Ingresos de agricultura bajo riego con sistema de pivote central en función al tamaño de área bajo riego	117
Figura 6.17. Ingresos de agricultura bajo riego con pivote central en función a años de plazo para pago de crédito por compra de equipos de riego pivote central con tasa financiera de 10% anual	118
Figura 6.18. Ingresos de agricultura bajo riego con sistema pivote central en función a tasa de crédito porcentual por año con cinco años de plazo	118
Figura 6.19. Ingresos de agricultura bajo riego con sistema de pivote central para las zonas RP, RG1, RG2 y RG3 que se extienden de sur a norte en la llanura cruceña.....	118

Figura 7.1. El lecho del río Parapetí donde sale de las serranías sub-andinas.....	125
Figura 7.2. El lecho del río Parapetí donde el caudal del río desaparece en una zona arenosa	126
Figura 7.3. El lecho del río Parapetí donde el caudal del río reaparece en los Bañados de Izozog (BI)	126
Figura 7.4. Los Bañados de Izozog en la región del cruce del gasoducto de Gas Trans Boliviano (GTB)	127
Figura 7.5. El sector norte de los Bañados de Izozog y de la Laguna Concepción	128
Figura 7.6 El Río Grande cerca la comunidad de Okinawa	129
Figura 8.1. Zonificación de la llanura cruceña mostrando zonas viables para riego extensivo.....	132
Mapa 10.1. Mapas de precipitación mostrando estaciones de WMO (NOAA_ghcn) e isoyetas de FAO	147
Mapa 10.2. Mapa hidro-geológico de Bolivia a escala 1:2,500,000	148
Mapa 10.3. Mapa fisiográfico del municipio de Cabezas	149
Mapa 10.4. Mapa geológico del municipio de Cabezas	150
Mapa 10.5. Mapa de pozos de agua identificados y utilizados en este estudio	151

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.	
Valores referentes al almacenamiento potencial de agua en acuíferos (Davis & Cornwell, 1991)	15
Tabla 2.2	
Formaciones geológicas en la región de estudio	21
Tabla 2.3	
Perfiles litológicos de pozos para agua de la zona Este de Santa Cruz	25
Tabla 2.4	
Perfiles litológicos de pozos para agua de la localidad Yarirenda del municipio Cabezas.....	26
Tabla 2.5	
Perfiles litológicos de pozos para agua de la localidad Itai de la provincia Cordillera	27
Tabla 2.6	
Perfiles litológicos de pozos para agua de la zona norte de Santa Cruz.....	28
Tabla 2.7	
Perfiles litológicos de pozos para agua de la zona sur de Santa Cruz	29
Tabla 2.8	
Perfiles litológicos de pozos principales para agua de la ciudad de Santa Cruz (SAGUAPAC) en un radio de 500 metros	30
Tabla 2.9	
Datos de perforación de pozos cercanos al río Parapetí	31
Tabla 2.10	
Correlación litológica de pozo para agua en la zona Tita.....	32
Tabla 2.11	
Costos promedios para exploración de pozos.....	38
Tabla 2.12	
Ejemplo de estructura de costos para un pozo de 143 metros de profundidad utilizando tubería de acero Roscoe Moss de 8 pulgadas.....	38
Tabla 3.1.	
Resumen de información hidrológica de la cuenca del Río Grande entre 1945-1971	40

Tabla 3.2. Descarga media mensual en m ³ /s de la cuenca del Río Grande medida en la estación Abapó de 1971 a 1974	41
Tabla 3.3. Descarga media mensual en m ³ /s de la cuenca del Río Grande medida en la estación Puerto Pailas de 1972 a 1974.....	41
Tabla 3.4. Descarga media mensual en m ³ /s de la cuenca del río Parapetí medida en la estación San Antonio de 1972 a 1974	42
Tabla 3.5. Resumen de información hidrológica de la cuenca del río Pirai entre 1945 y 1966	43
Tabla 3.6. Valores medios mensuales de humedad relativa del aire (%)	48
Tabla 3.7. Datos de dirección promedia mensual de vientos (N-norte, S-sur, SE-sur este, NO-nor oeste, NE-nor este, E-este)	49
Tabla 3.9 Métodos para el cálculo de ETo	50
Tabla 3.10 Cálculo de evapotranspiración potencial en (mm/día) para estaciones con datos de temperatura, humedad y vientos.....	50
Tabla 4.1. Factores para evaluar la calidad de agua para riego	55
Tabla 4.2. Guía para la interpretación de calidad de agua para riego.....	56
Tabla 4.3. Subdivisión de conductividad eléctrica en varias categorías para definir mejor la clase de agua para riego	56
Tabla 4.4. Medios hidrogeológicos y su vulnerabilidad a contaminación de aguas subterráneas	59
Tabla 5.1. Lista de sistemas de riego actual (2001) para el área de estudio, según el PRONAR	63
Tabla 5.2. Propuesta de proyectos para el departamento (Ministerio de Desarrollo Sostenible).....	64
Tabla 5.3. Resumen de algunos coeficientes de cultivo (Kc) por mes para la región del chaco según los cálculos del PRONAR.....	67

Tabla 5.4.	
Precios de combustibles en octubre de 2003.....	69
Tabla 5.5.	
Contenido representativo de energía de combustibles y electricidad	69
Tabla 5.6.	
Valores típicos de eficiencia para plantas de bombeo representativas para riego con valores expresados en porcentajes.....	69
Tabla 5.7.	
Comparación de bombas movidas por GLP	72
Tabla 5.8.	
Caudales de agua necesarios (litros por segundo por hectárea) para sistemas de riego con eficiencia de 80%	73
Tabla 5.9.	
Caudales de agua necesarios (litros por segundo por hectárea) para sistemas de riego con eficiencia de 60%	73
Tabla 5.10.	
Ejemplos de precios de bombas sumergibles eléctricas (Bergely)	74
Tabla 5.11.	
Eficiencia de los sistemas de riego para suelos franco-arenosos	81
Tabla 5.12.	
Estimativa de vida útil (años) de varios componentes para riego	82
Tabla 5.13.	
Costos de inversión en sistemas de riego promedios en EE.UU	82
Tabla 5.14.	
Comparaciones entre sistemas de alta y baja presión y sistemas LEPA de riego por pivote central.....	83
Tabla 5.15.	
Valor bruto de la producción agropecuaria regional de Santa Cruz, 2002	85
Tabla 5.16.	
Producción de soya en Santa Cruz, verano de 2001 – 2002 (ANAPO)	86
Tabla 5.17.	
Siembra directa en Santa Cruz 2001 – 2002 (ANAPO).....	86
Tabla 5.18.	
Evolución de la producción de soya de verano	87
Tabla 5.19.	
Evolución de la producción de soya de invierno	88

Tabla 5.20.	
Producción de maíz en campaña de verano en Santa Cruz.....	89
Tabla 5.21.	
Evolución de la producción de trigo en Santa Cruz	90
Tabla 5.22.	
Evolución de la producción de girasol en Santa Cruz.....	91
Tabla 5.23.	
Evolución de la producción de sorgo de invierno en Santa Cruz.....	92
Tabla 5.24.	
Evolución de la producción de sorgo de verano en Santa Cruz.....	92
Tabla 5.25.	
Evolución de la producción de azúcar en Santa Cruz.....	93
Tabla 5.26.	
Evolución de la producción de carne bovina en Santa Cruz	94
Tabla 5.27.	
Producción ideal con buen manejo y riego para diferentes cultivos obtenidos de un análisis de producción óptima de la región de Santa Cruz	95
Tabla 5.28.	
Posible incremento en la producción actual con riego y buen manejo agrícola	95
Tabla 5.29.	
Parámetros zootécnicos de la producción ganadera en Santa Cruz, 2001	96
Tabla 6.1	
Zonificación de la llanura cruceña.....	97
Tabla 6.2.	
Valores de precipitación, ETo y área para cada zona.....	99
Tabla 6.3.	
Precipitación media mensual para cada zona en mm	100
Tabla 6.4.	
Precipitación media mínima para cada zona en mm	101
Tabla 6.5.	
Necesidades de agua para riego en diferentes cultivos de la zona PI2.....	105
Tabla 6.6.	
Necesidades de agua para riego en la Zona PM1, para diferentes cultivos.....	106
Tabla 6.7.	
Necesidades de agua para riego en diferentes cultivos de la zona RG1	108

Tabla 6.8.	
Necesidades de agua para riego en diferentes cultivos de la zona RG2	109
Tabla 6.9.	
Necesidades de agua para riego en diferentes cultivos de la zona RP	110
Tabla 6.10.	
Necesidades de agua para riego en diferentes cultivos de la zona SC.....	111
Tabla 6.11.	
Comparación general de la disponibilidad y déficit de agua y necesidades de riego para la región.....	112
Tabla 6.12.	
Disponibilidad de agua subterránea mediante perforación de pozos	112
Tabla 6.13.	
Necesidad de riego de soya de verano en San Antonio del Parapetí – calculado con programa de riego de la FAO – CROPWAT.....	113
Tabla 6.14.	
Ejemplo de análisis de riego con programa CROPWAT para Soya Verano en zona RP.....	114
Tabla 6.15	
Descripción de variables utilizadas en ejemplo de factibilidad económica de riego	115
Tabla 6.16	
Ejemplo de resultados económicos de factibilidad de riego	116
Tabla 6.17.	
Estimativas de volumen de agua disponible en el subsuelo para extracción por pozos hasta 500 metros.....	119
Tabla 6.18.	
Recarga por precipitación y percolación profunda	120
Tabla 6.19.	
Uso máximo de agua subterránea para riego sostenible.....	120
Tabla 6.20.	
Número de pozos y costos para riego en zonas RP, RG1, RG2 y RG3	121
Tabla 6.21.	
Valores estimados de recarga del acuífero por infiltración del río (total y en época seca y húmeda)	121
Tabla 6.22.	
Posible uso de agua superficial del río Parapetí	122
Tabla 6.23.	
Posible uso de agua superficial del Río Grande	122
Tabla 10.1.	
Estructura de costos operativos y de producción soya - siembra directa - maquinaria alquilada	162

Tabla 10.2.
Santa Cruz: estructura de costos operativos y de producción
de trigo - siembra directa - maquinaria alquilada163

Tabla 10.3.
Estructura de costos operativos y de producción de girasol - siembra directa - maquinaria alquilada164

Tabla 10.4.
Coeficientes de cultivo (kc) para valles mesotérmicos y chaco (Fuente: PRONAR)177

PRÓLOGO

Bolivia está embarcada en un proceso de desarrollo social y económico en el que el potenciamiento de una agricultura moderna y sostenible tiene un papel sustancial. Miles de ciudadanos dependen directa o indirectamente de las labores agrícolas que, además, son trascendentales para la seguridad alimentaria del país. Paralelamente, considerando que el país vive una etapa de fuertes cambios políticos y sociales, se posiciona nuevamente y de manera fundamental el tema de la protección y uso sostenible los recursos naturales.

La agricultura es un pilar fundamental de la economía del departamento de Santa Cruz, sin embargo, tiene una limitante fundamental, el agua. Es por esto que, con gran profundidad técnica, este libro analiza la disponibilidad y sostenibilidad del uso del agua subterránea y superficial para riego agrícola en la región. Pero va más allá, analiza el gas como la más interesante fuente de energía para hacer posible el riego con aguas subterráneas así como a la economía detrás del riego en la agricultura.

Este libro, precisamente, trata estos tres temas: agua, gas y agroindustria, como aportes al sector productivo. Pero no se queda ahí, los enmarca de una manera moderna y provocativa con los temas críticos de la conservación del recurso agua y los vincula a una escala mayor con la conservación de la biodiversidad.

La investigación, desarrollada por los expertos Thomas A. Cochrane, Timothy J. Killeen y Osvaldo Rosales, durante el 2004, pretende dar información y orientación al sector productivo agrícola y al público en general sobre el potencial de los sistemas de riego en la llanura cruceña y el uso de gas como fuente energética para el bombeo

de aguas subterráneas, pero también alerta sobre sus riesgos. El texto se constituye en una contribución al desarrollo del país aportando técnicamente a la agricultura cruceña y la protección de recursos ecológicos y ambientales invaluable.

Desde una perspectiva científica, identifica los riesgos económicos, límites hídricos y los posibles impactos ambientales que esa iniciativa puede generar. En ese sentido, el texto muestra que el riego con agua subterránea puede mejorar la producción agrícola, pero reconoce que la sustentabilidad del recurso agua subterránea para riego depende de la protección de importantes espacios ecológicos, en las estribaciones de los andes y la llanura cruceña, que recargan los acuíferos. Si éstos se ven afectados, las propuestas de riego con aguas subterráneas no tendrían viabilidad a mediano y largo plazos.

En ese sentido, la investigación de Cochrane, Killeen y Rosales identifica áreas donde el riego extensivo puede o no ser viable. Finalmente, demuestra claramente que el camino para una agricultura productiva y sostenible en Santa Cruz no es expandiendo la frontera agrícola y por ende causando una masiva deforestación, sino haciendo más productivos los que ya han sido habilitados para esos fines y conservando mejor los suelos en ellos.

Erwin Aguilera
Director Departamental de
Recursos Naturales y Medio Ambiente
Prefectura de Santa Cruz

(1)

INTRODUCCIÓN

El propósito de este estudio es proveer a educadores, productores agrícolas, conservacionistas y técnicos de diferentes profesiones una zonificación de la región de Santa Cruz que presenta condiciones favorables de riego para el desarrollo agrícola, utilizando como fuente agua subterránea y superficial. Se presentan temas económicos relacionados al uso de energía como ser el uso del gas natural, gas licuado de petróleo (GLP), diesel y otros para fomentar el riego, así como los posibles impactos ambientales relacionados al desenvolvimiento del riego agrícola. Este libro trata de los aspectos técnicos del riego, del uso racional de los recursos hídricos subterráneos y la protección de las zonas húmedas (pantanales y lagunas) y de las áreas de alto riesgo ecológico. El estudio se basa en el análisis de la información obtenida en los siguientes temas, discutidos en diferentes secciones del estudio:

1. *Aguas subterráneas*: En esta sección hacemos una descripción de las características físicas que presentan mejores condiciones para el almacenamiento del agua subterránea. Se describe las condiciones geológicas, fisiográficas, y geomorfológicas de cada región de estudio. Se hace un análisis de los probables niveles de agua estática en una región y se precisa la dirección de los flujos subterráneos. En el Anexo presentamos datos sobre caudales, profundidad de pozos, diámetros, tipos de tubería, filtros, niveles estáticos y niveles dinámicos de varios pozos en la región de estudio.

2. *Hidrología y climatología*: En esta sección presentamos un análisis de los datos hidrológicos y climatológicos de la región. Se calculan factores como evapotranspiración y se han estimado los valores de recarga de agua para los acuíferos.

3. *Calidad del agua*: En esta sección se indica la calidad del agua subterránea y superficial.

4. *Riego agrícola*: En esta sección se discuten los diferentes asuntos relacionados con el riego agrícola. Pre-

sentamos los diferentes tipos de riego, las fuentes de energía para el riego como ser el uso del gas natural, energía eólica y otros, y los factores económicos del riego.

5. *Zonificación de la región de Santa Cruz en base a la disponibilidad de agua para riego*: En esta sección se presenta una zonificación de la región de Santa Cruz en base a la información hidrogeológica, hidrológica, climatológica, la calidad del agua para riego y la sostenibilidad del desenvolvimiento extensivo de aguas subterráneas para riego.

6. *Temas ambientales y de conservación*: En esta sección se describen los posibles impactos ambientales que la agricultura y particularmente el riego extensivo pueden tener en el ambiente y en los recursos naturales.

Muchos de los temas abordados pueden ser profundizados siguiendo las referencias mencionadas y también mediante la lista global de enlaces que se presenta al final del estudio.

1.1. ANTECEDENTES

Bolivia cuenta con reservas de gas natural estimadas en aproximadamente 53 trillones de pies cúbicos (TCF, por su sigla en inglés), lo que la pone en el segundo lugar de Sudamérica. La monetización de estas reservas es una prioridad nacional. Actualmente se realiza mediante la exportación de gas a Brasil y Argentina, la cual tiene la tendencia de aumentar paulatinamente en los años futuros. Simultáneamente, la sociedad boliviana pide que las reservas de gas no solamente sean un recurso natural explotado y exportado, sino también un instrumento de fomento del desarrollo integral de la economía. Esto podría lograrse destinando un volumen importante de gas al consumo interno. Consecuentemente, el gobierno nacional y el sector privado están fomentando iniciativas de elaboración de productos y venta de servicios relacionados con el gas natural, con énfasis en su uso doméstico y en los productos con valor agregado para la exportación.

Bolivia también cuenta con una enorme biodiversidad. Es uno de los 18 países conocidos como “mega diversos” en el planeta. Ello se debe a la variedad de regiones biogeográficas que posee, la Amazonía, la Chiquitania, el Gran Chaco, el Pantanal y los Andes. A diferencia de otros muchos países, Bolivia todavía cuenta con paisajes silvestres con poca presencia humana y de enorme extensión, lo que le permite proporcionar al mundo servicios ecológicos de gran importancia. La sociedad boliviana ha realizado avances importantes en el compromiso de conservar la biodiversidad y de asegurar la sostenibilidad del desarrollo.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO Y OBJETIVOS

1.2.1. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO

Este documento describe un modelo de desarrollo que surge de un reciente reconocimiento, en el departamento de Santa Cruz, de las interrelaciones entre: 1) la gran disponibilidad de gas como energía de bajo costo, 2) abundantes recursos subterráneos y superficiales de agua, y 3) la necesidad de mejorar la producción agrícola en las zonas de expansión agrícola de Santa Cruz. Se trata de un modelo de producción agrícola basado en sistemas de riego de gran, mediana y pequeña escala, con métodos modernos de irrigación. El riego puede mejorar dramáticamente la rentabilidad de las actividades agrícolas en el departamento de Santa Cruz, reduciendo los riesgos climáticos que han afectado a las inversiones en agricultura durante la última década. Al mismo tiempo, se podría utilizar las abundantes reservas de gas natural para mejorar los ingresos por exportaciones de granos y derivados con valor agregado, y apoyar así la creación de nuevas fuentes de trabajo en un sector clave para la economía nacional. Estas acciones evitarían la concentración de gente pobre en los centros urbanos.

Este estudio prevé una zonificación agrícola según un modelo de uso racional del agua superficial y subterránea (entendiendo por “racional” el que no afecte al sistema ecológico ni ocasione la pérdida de humedales de importancia, particularmente en los bañados de Izozog y en Laguna Concepción). Las poblaciones de vida silvestre en el Parque Nacional Gran Chaco Kaa-Iya son extremadamente dependientes de los bañados de Izozog durante meses críticos de la época seca, y la desaparición de los humedales podría causar el colapso de grandes

poblaciones de la fauna del lugar, ocasionando daños irreversibles a una de las áreas más importantes para la vida silvestre en el país. También podrían ser afectadas las aves migratorias que, provenientes de Norteamérica y de la Patagonia, utilizan la Laguna Concepción como un paradero de descanso durante sus largas migraciones estacionales. La desaparición de este humedal tendría impactos a nivel hemisférico.

Los recursos hídricos son especialmente importantes para las comunidades tradicionales asentadas a lo largo del río Parapetí. Por un lado, las comunidades dependen de la vida silvestre del Gran Chaco, que les provee de una parte importante de las proteínas que requieren para sobrevivir. Pero, aún más importante, estas comunidades usan los acuíferos libres (superficiales) del río Parapetí para el consumo doméstico y para alimentar los sistemas tradicionales de riego de la agricultura de subsistencia. Un uso no racional de los recursos hídricos podría tener graves impactos negativos para ellas, ocasionando la pérdida de sus formas tradicionales de vida y la degradación de los ecosistemas de los cuales dependen.

La importancia de los dos humedales mencionados fue reconocida en 2001 por el gobierno de Bolivia, que los designó como sitios RAMSAR, es decir, les confirió el estatus de humedal de importancia global (Convenio RAMSAR), y se comprometió a conservar sus ecosistemas y a garantizar el uso racional de los recursos hídricos relacionados con ellos (http://www.ramsar.org/wssd_wwf_bolivia.htm).

Adicionalmente, es fundamental pensar en el sistema hídrico en su conjunto. Tanto las aguas superficiales como las aguas subterráneas de la cuenca baja del río Parapetí dependen en gran medida de la cuenca alta (zona subandina), la cual debe ser protegida adecuadamente.

1.2.2. OBJETIVOS

El principal objetivo del estudio de los recursos hídricos y del potencial de riego del área de la llanura cruceña, es decir, de la región integrada por Santa Cruz y la Tierra Comunitaria de Origen (TCO) Kaa-Iya, es reunir el material básico necesario para delinear las metas, las estrategias y los programas de uso, distribución, control, administración y preservación (en calidad y cantidad) de los recursos hídricos, para lograr su aprovechamiento sustentable y satisfacer los requerimientos actuales y futuros de los pobladores de la región, contribuyendo así a su desarrollo económico. Se pretende contribuir hacia

un uso racional de los recursos naturales para satisfacer los siguientes objetivos:

- Satisfacer la demanda actual y futura de agua para:
 - Contribuir al mejoramiento de la salud pública.
 - Alimentar eficientemente los sistemas de riego.
- Proteger y conservar el agua y el medio ambiente.
- Contribuir al desarrollo económico, atendiendo la demanda de agua de la agricultura y la ganadería.

Para alcanzar los objetivos indicados se plantean las siguientes metas:

- Mantener los acuíferos con la cantidad y calidad adecuadas para su aprovechamiento.

- En zonas con déficit, mejorar el suministro de agua para la ganadería, agricultura y los demás sectores, desarrollando un programa de “cosecha de aguas” mediante la perforación de pozos o el acopio de las aguas del verano, ya provengan directamente de las lluvias o lo hagan de las escorrentías torrenciales de la región.
- Usar eficientemente el agua, introduciendo patrones de utilización que mejoren su aprovechamiento doméstico, ganadero y agrícola. Preservar la disponibilidad y calidad del agua para el futuro.
- Aplicar una estrategia municipal para la planificación, administración y asignación de los recursos hídricos, mediante programas de mediano y largo plazo.

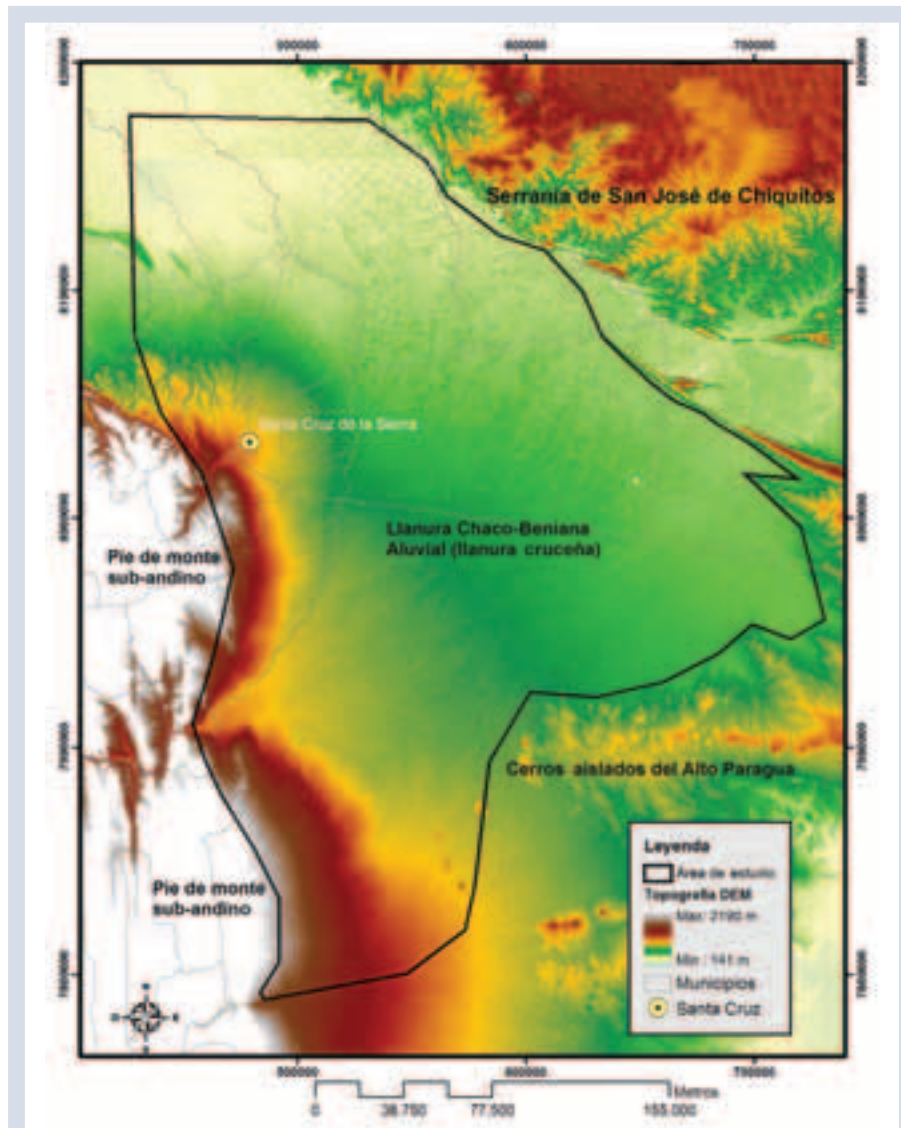


Figura 1.1. Mapa mostrando el área de estudio dentro de la llanura cruceña y las estructuras fisiográficas sobre un mapa topográfico DEM de esta región.

- Hacer participar a la población y a las organizaciones interesadas en los recursos hídricos en la ejecución de los programas que atañen al recurso agua.
- Establecer sistemas de medición e información de los recursos hídricos, para disponer de estimaciones confiables sobre la calidad y cantidad de éstos, así como del uso que le dan los diferentes sectores productivos.

1.3. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio está situada dentro de la unidad fisiográfica denominada llanura chaco-beniana (denominada llanura cruceña, la cual está representada en la Figura 1.1.; sus límites están definidos en la Figura 1.2.) Esta área se extiende desde el límite sur de la provincia

de Guarayos hasta el río Parapetí en el sur. Está limitada al este por el río San Julián y la serranía de San José de Chiquitos, al oeste por el pie de monte sub-andino y al sur-este por los cerros aislados del alto Paragua. Esta región comprende las zonas de la TCO Kaa-Iya, bañados de Izozog y las zonas integradas del norte, así como las zonas de expansión agrícola norte y este de Santa Cruz.

En la Figura 1.1. mostramos el área de estudio en un mapa topográfico de la región.

En la Figura 1.2. mostramos el área de estudio que incluye la TCO Kaa-Iya, bañados de Izozog y las zonas integradas del norte, así como las zonas de expansión agrícola norte y este de Santa Cruz. En este mapa se muestran también caminos, ríos, provincias, vías férreas y gasoductos y áreas protegidas.

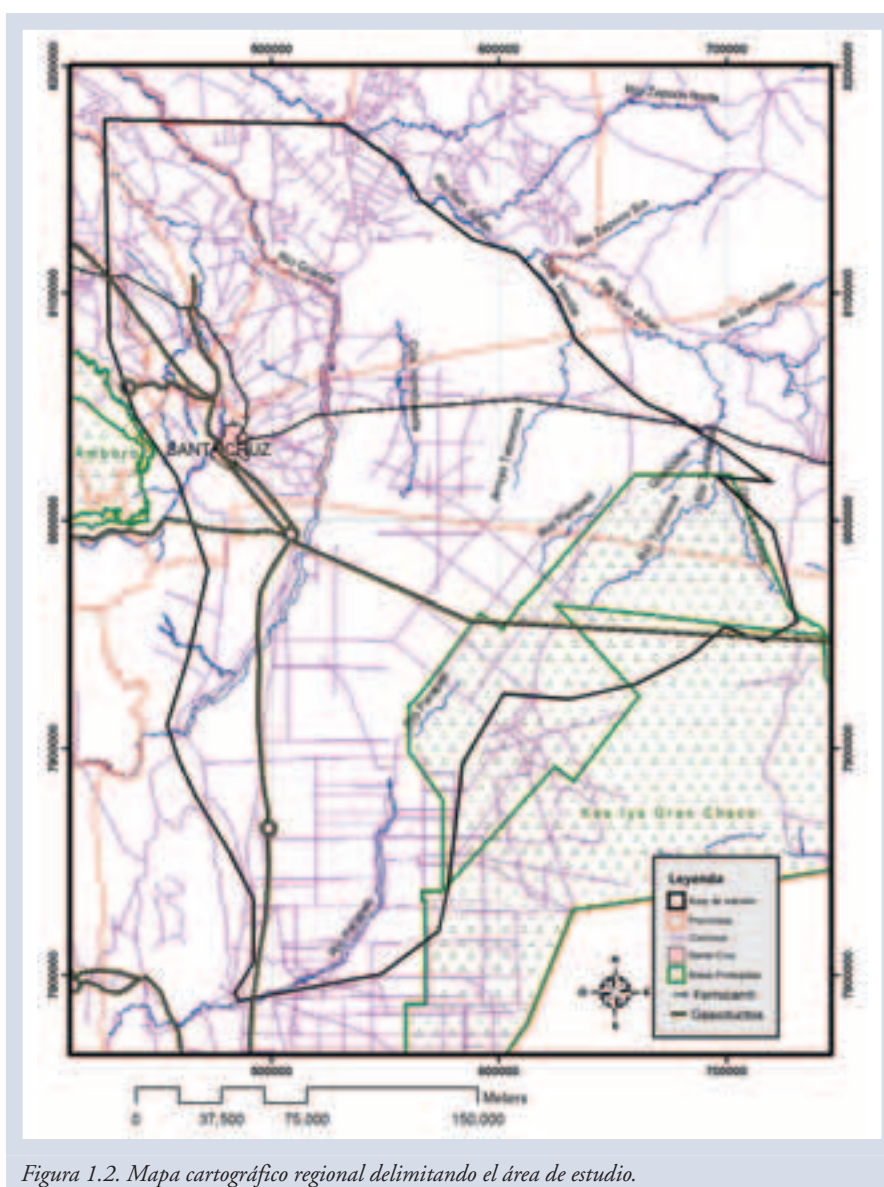


Figura 1.2. Mapa cartográfico regional delimitando el área de estudio.

1.4. INFORMACIONES Y MAPAS TEMÁTICOS

Dada la diversidad de temas presentados en este estudio, se requirió la compilación de varios datos e informaciones regionales. En cada sección de este libro detallamos las fuentes de la información, para que el lector pueda ubicar datos adicionales, en caso de querer hacerlo. Una gran parte del trabajo de compilación y análisis de la información fue realizado digitalmente, con sistemas de información geográficos (ArcGIS).

Con la finalidad de dar al lector una visión amplia de las características de la región de estudio, a continuación se muestran algunos mapas temáticos con una ligera descripción. La proyección usada para los mapas

presentados en este documento es SAD 69, UTM zona 20.

1.4.1. IMAGEN SATELITAL Y POZOS

En la Figura 1.3. se puede encontrar una imagen satelital de la región de estudio, que es una compilación de varias imágenes LandSat TM de 1990 a 1991, obtenida de la NASA en formato MrSid. En este mapa también se muestra la ubicación de los pozos de agua que son utilizados para el abastecimiento humano; sin embargo, esta información no refleja la cantidad real de pozos de la región, sino tan sólo los pozos cuyos datos de perforación fueron compilados y estuvieron disponibles para la realización de este estudio. En el Anexo 10.4. se mues-

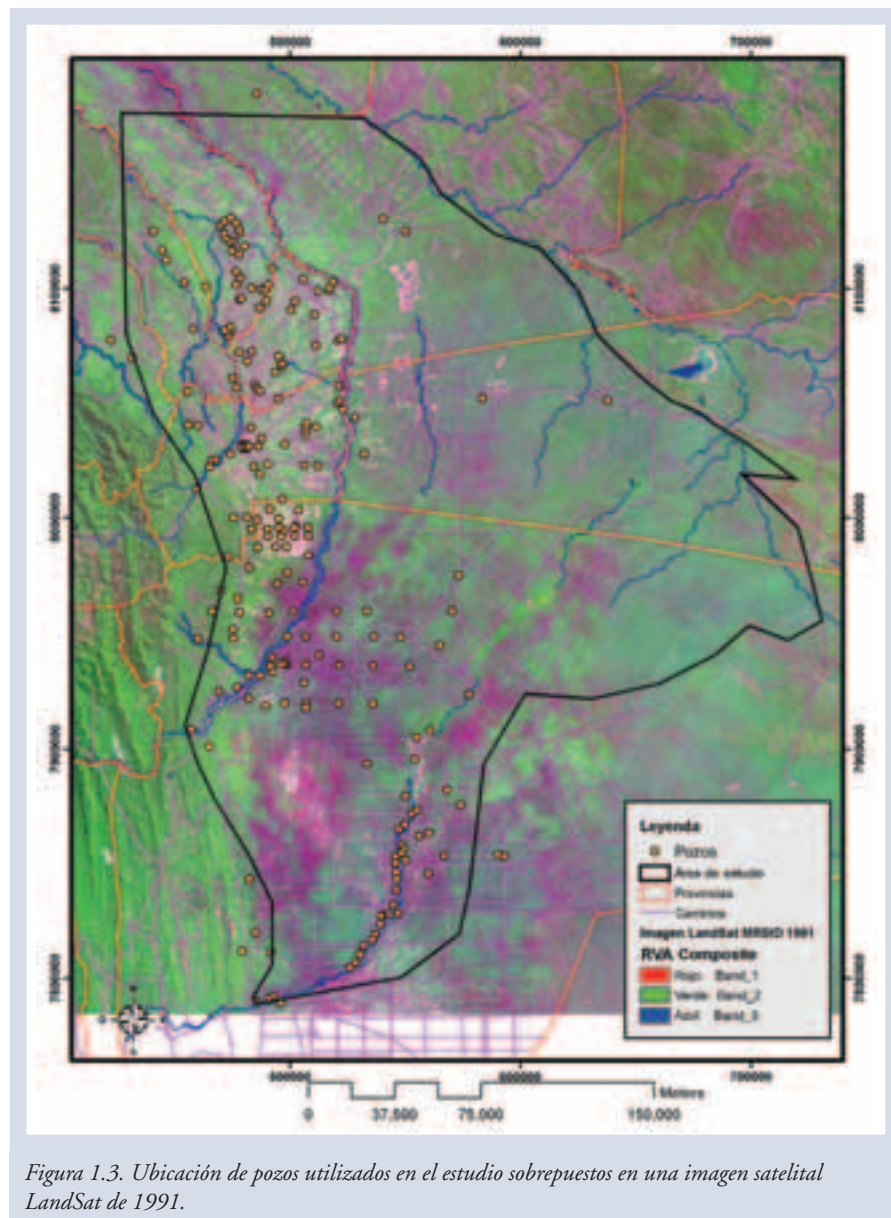


Figura 1.3. Ubicación de pozos utilizados en el estudio sobrepuestos en una imagen satelital LandSat de 1991.

tra mapas con mayor detalle y una planilla con la ubicación y los datos técnicos de cada pozo. En la actualidad existe una cantidad muy significativa de pozos construidos en la llanura cruceña, con una profundidad que varía de los 20 hasta los 400 metros, y con diámetros de 3 a 14 pulgadas. La mayoría de los pozos están concentrados en la subregión integrada que comprende la parte norte de Santa Cruz.

1.4.2. MAPA TOPOGRÁFICO

Un mapa topográfico se muestra en la Figura 1.4. Éste fue derivado del Modelo de Elevación Digital DEM de la NASA, con resolución horizontal de 90 m. La variación de los colores del mapa nos muestra los cambios de relieve; puede verse que la franja verde

ocupa gran parte de la amplia llanura aluvial cruceña, cayendo en una suave pendiente hacia el norte. En este mapa también se muestra la ubicación de los pozos. El número asociado a cada pozo representa el valor de la elevación superficial en la que fue perforado. En posteriores secciones de este documento hacemos referencias a este mapa topográfico.

1.4.3. MAPAS DE VEGETACIÓN

En la Figura 1.5. presentamos una clasificación preliminar de la vegetación y la expansión agrícola de la región, realizada por el Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado utilizando imágenes LandSat del año 2000, en época seca. Podemos observar la expansión agrícola en color rojo y los humedales en color azul claro. La

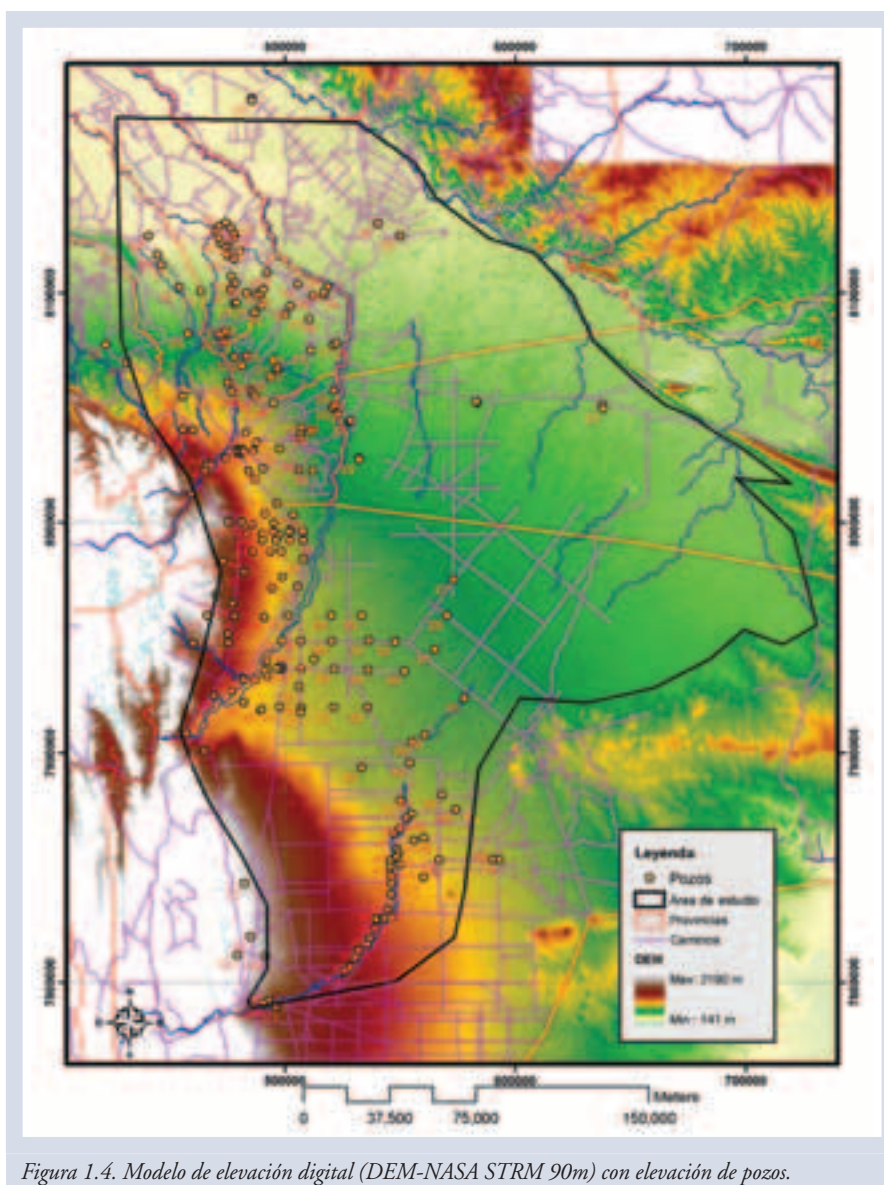


Figura 1.4. Modelo de elevación digital (DEM-NASA STRM 90m) con elevación de pozos.

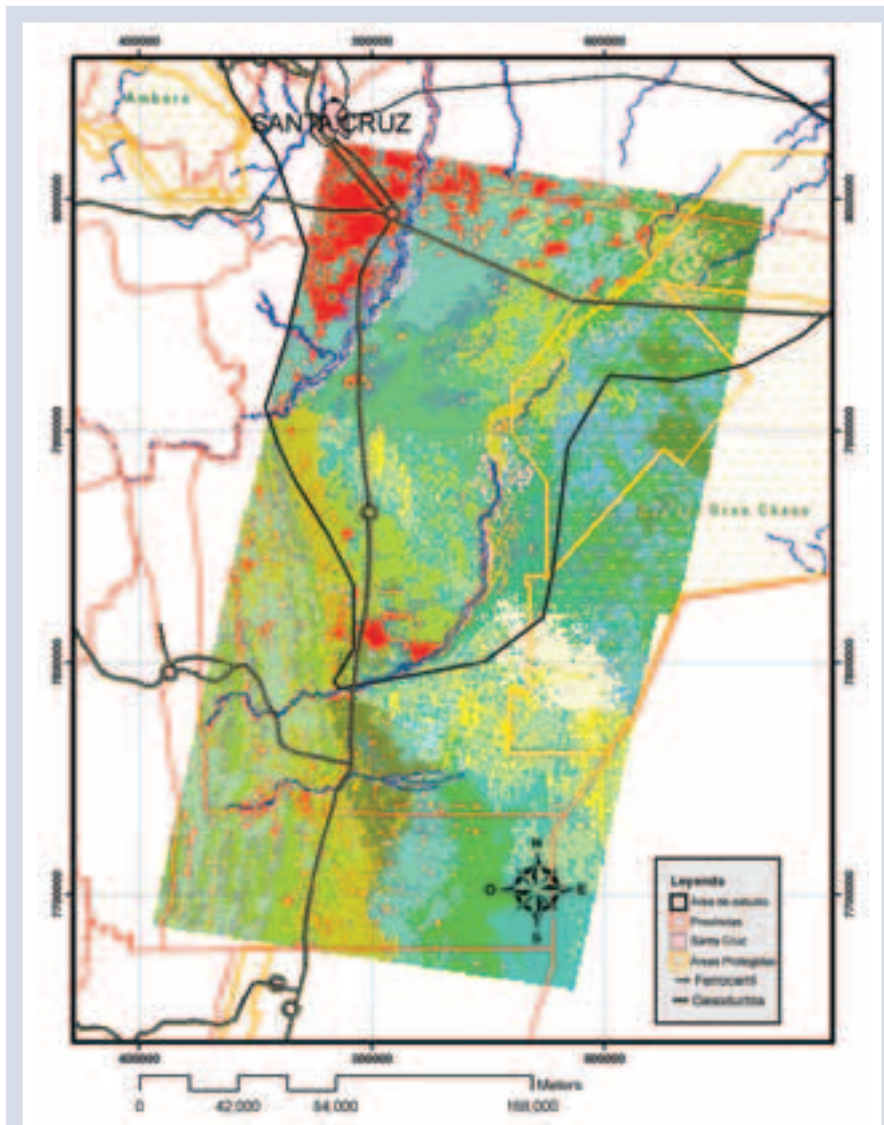


Figura 1.6. Interpretación de la imagen LandSat para obtener un mapa temático de la vegetación de la región sur. (Fuente: CABI/WCS).

(2)

AGUAS SUBTERRÁNEAS

Es de conocimiento popular que Santa Cruz tiene un gran potencial de aguas subterráneas, pero el conocimiento técnico y la información específica sobre este asunto son limitados. Un estudio detallado del agua subterránea demandaría una gran inversión económica y técnica, la cual no se ha realizado hasta el momento. En el presente trabajo, la evaluación de este recurso se hizo sobre la base de la información recolectada por varios estudios independientes, y a observaciones directas en el campo, lo que ha dado resultado lo siguiente:

- Una relación de las definiciones hidrogeológicas que ayudan al lector a entender el estudio de las aguas subterráneas. Se provee referencias en cada sección para una mayor información sobre cada tema.
- Una descripción de las condiciones geológicas, fisiográficas y geomorfológicas que definen las condiciones de los depósitos de agua subterráneos (acuíferos) de la región. Se muestra los perfiles litológicos de los pozos, la correlación litológica, la ubicación de la red de pozos de agua a través de mapas, y cortes geológicos estructurales del subsuelo que muestran la configuración por debajo de la superficie del terreno hasta los 2.400 m.
- Se hace un análisis de los probables niveles de agua estática en la región de estudio, y se muestra la dirección del flujo subterráneo.
- En el Anexo 10.4. se incluye un cuadro en el que se da la ubicación de la red de pozos, su caudal de producción, su nivel estático y dinámico, el tipo de tuberías y filtros empleados en los pozos, y sus fechas de construcción.

2.1. DEFINICIONES HIDROGEOLÓGICAS

Para entender los procesos del sistema de aguas subterráneas es preciso definir la terminología utilizada en este documento. Aquí presentamos la descripción de

dicha terminología y algunos conceptos generales sobre el estudio de las aguas subterráneas.

Acuífero: Una unidad geológica que tiene la capacidad de almacenar y transmitir suficiente agua para proveer cantidades razonables a los pozos para consumo humano o agrícola (por ejemplo arenas, gravas, piedras areniscas, rocas calcáreas y dolomías, basaltos y rocas ígneas y metamórficas fracturadas).

Camada confinadora: Una unidad geológica que tiene poco o nada de permeabilidad intrínseca (menos que 10 micro Darcys, md), como por ejemplo: arcillas pesadas, sales y rocas ígneas y metamórficas no fracturadas, o sea, una camada que impide el movimiento de agua.

El agua subterránea se encuentra en los acuíferos en tres diferentes condiciones; según éstas hablamos de acuíferos confinados, acuíferos libres y acuíferos semi-confinados. Acuíferos confinados son aquellos que se encuentran debajo de una camada confinadora formada de materiales como arcillas o rocas. Un acuífero libre carece de confinación por una camada impermeable y permite la infiltración directa de agua de la superficie. Los acuíferos semi-confinados son aquellos que tienen un cierto nivel de confinación, pero permiten la recarga de agua por infiltración superficial. Por ejemplo, las capas de materiales tales como los limos no impiden completamente el paso vertical del agua; un sistema así se denomina semi-confinado (Figura 2.2.) Estos acuíferos semi-confinados todavía pueden recibir una recarga vertical, pero a un ritmo muy inferior que los acuíferos libres, y esto es significativo en términos de la sostenibilidad del acuífero a largo plazo.

Los acuíferos libres son a menudo de poca profundidad y se encuentran con frecuencia sobre uno o más acuíferos confinados. Los acuíferos libres también se llaman “acuíferos de nivel freático” y se recargan directamente por la precipitación.

Los acuíferos confinados se presentan en profundidades considerables y generalmente cubren otros acuíferos confinados. Se recargan a menudo por grietas o por aberturas en las capas impermeables que se encuentran sobre o debajo de ellos. Los acuíferos confinados en formaciones geológicas complejas pueden estar expuestos en la superficie de la tierra y pueden recargarse directamente por infiltraciones de las lluvias. Los acuíferos confinados también pueden recibir la recarga de un área adyacente alta, por ejemplo una montaña. El agua que se infiltra por la roca fracturada de las montañas puede fluir hacia abajo y después moverse lateralmente en los acuíferos confinados.

El nivel del agua de un acuífero confinado no sube ni baja libremente porque es confinado por la camada (que actúa como una tapa). La confinación causa presurización en el agua. En algunos casos, la presión de un acuífero confinado es suficiente para echar un chorro de agua varios pies sobre la superficie de la tierra, una vez abierto el pozo. Tales pozos se llaman: *pozos artesianos que fluyen, o surgentes*. Los acuíferos confinados también se llaman a veces “acuíferos artesianos”.

Cuando un pozo se perfora en un acuífero libre, su nivel del agua llega generalmente al mismo nivel que el de la superficie del acuífero. Esto es, en la mayoría de los casos, al nivel freático. En contraste, cuando un pozo se

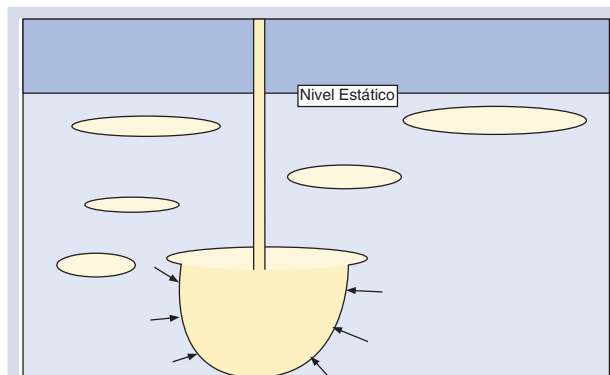


Figura 2.2. Pozo en región de acuífero libre o semi-confinado (basta que el bombeo exceda el área de confinación).

perfora en un acuífero confinado, el nivel del agua puede llegar a una cierta altura sobre el nivel freático y quizás incluso sobre la superficie de tierra, según cuán presurizada esté el agua. Si una cantidad de pozos se perfora en un acuífero confinado, el nivel del agua se elevará en cada pozo hasta cierto nivel. Estos niveles de los pozos forman en conjunto una superficie imaginaria llamada *superficie potenciométrica o piezométrica*, como muestra la Figura 2.1. La superficie potenciométrica es para un acuífero confinado lo que el nivel freático es para un acuífero libre. O sea, indica a qué nivel llegaría la superficie de un acuífero confinado si la cama que lo confina fuera removida.

Cuando se bombea agua de un pozo, el nivel del agua en el pozo disminuye y ocurre lo que se llama un cono de depresión (ver Figura 2.1). El tamaño y la influencia de este cono de depresión dependen de las características del bombeo, del pozo y del tipo de acuífero.

Los acuíferos más productivos, confinados o libres, están generalmente en depósitos de arena y de grava, porque éstos suelen tener espacios vacíos grandes (porosidad) para contener el agua. Las rocas con aberturas grandes tales como cavidades o fracturas también pueden ser acuíferos altamente productivos. Generalmente, cuanto más pequeño es el tamaño del grano de los depósitos de grava y arena, o menor la fractura de las rocas, menos agua producirá el acuífero, porque habrá pocos espacios vacíos que puedan contener el agua.

La porosidad de un acuífero también tiene influencia en su capacidad de transmitir agua. La porosidad es una medida de la cantidad de espacio que hay en un acuífero. Típicamente, las arcillas y las gravas tienen altas porosidades, mientras que los suelos francos, las arenas, y las mezclas de diversos tamaños de grano tienen porosidades bajas. En general, las arenas y las gravas trans-

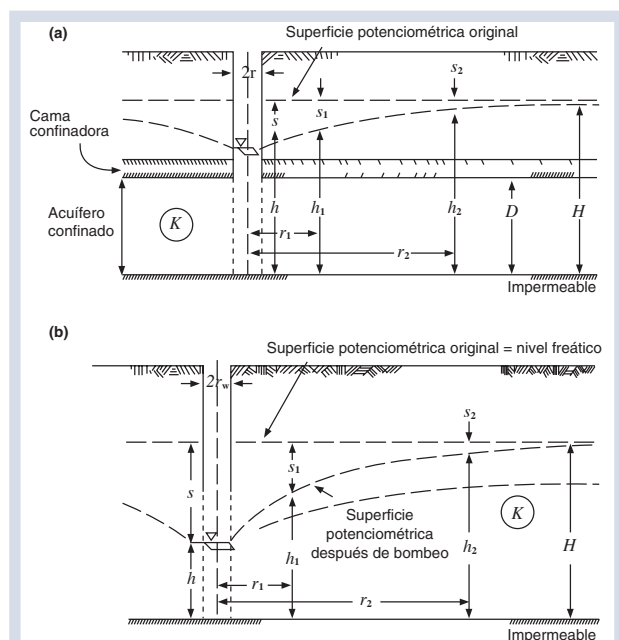


Figura 2.1. Geometría y símbolos de bombeo en pozos mostrando los conos de depresión y niveles potenciométricos. (a) acuífero confinado y (b) acuífero libre. Fuente: H. Bouwer, *Groundwater Hydrology*, New York: McGraw-Hill, 1978.

miten fácilmente el agua y tienen altas conductividades hidráulicas (en la gama de 50-1000 m/día). Los suelos francos y las arcillas transmiten el agua mal y tienen conductividades hidráulicas bajas (en la gama de 0.001-0.1 m/día).

La velocidad con la cual el agua viaja a través de un acuífero es proporcional a la conductividad hidráulica y al gradiente hidráulico, y proporcionalmente inversa a la porosidad. De estos tres factores, la conductividad hidráulica tiene generalmente un efecto mayor sobre la velocidad. Así, los acuíferos con altas conductividades hidráulicas, tales como depósitos de arena y de grava, generalmente transmiten agua más rápidamente que los acuíferos con conductividades hidráulicas más bajas, tales como los acuíferos con capas de limos o de arcillas. Sin embargo, flujos rápidos pueden ocurrir en rocas con cavidades o en rocas fracturadas.

Los sistemas de agua subterránea son dinámicos: el agua está continuamente en movimiento desde las áreas de recarga a las áreas de descarga. En sistemas con acuíferos grandes, centenares de años pueden transcurrir para el paso del agua a través de la parte subterránea del ciclo hidrológico (Figura 2.3.) Los caudales no exceden algunos metros por día, muy pobres comparados con los caudales de hasta más de un metro por segundo con que fluyen los ríos. Sin embargo, las velocidades pueden ser mucho más altas allí donde el agua fluye a través de sistemas geológicos con fracturas. Las velocidades dependen de factores como la densidad de la red de la abertura o de las fracturas. En piedra caliza fracturada las velocidades también pueden ser mucho más rápidas. Por esta

razón, en un único pozo se puede obtener agua que reside subterráneamente en diferentes cantidades de tiempo, o sea aguas con un tiempo de residencia diverso. Este es un factor importante que tomar en cuenta cuando se piensa en la degradación de los contaminantes y en el control de los microorganismos que causan enfermedades, tales como algunas bacterias, virus y protozoos (Foster e Hirata, 1998).

La extracción excesiva de agua subterránea en sistemas con acuíferos libres o semi-confinados puede causar problemas en ríos y riachuelos superficiales, como puede verse en la Figura 2.4., que muestra un ejemplo típico de esta situación, un caso de extracción excesiva por bombeo que causa un declive en el nivel de agua y llega a influenciar a un riachuelo cercano al pozo. Asimismo, la extracción excesiva puede causar que el pozo se seque si hay una barrera como una mancha de arcilla cerca de éste, como ilustra la Figura 2.5. En esta situación el nivel de agua en el pozo disminuye rápidamente donde hay una barrera como una mancha de arcilla cerca de éste.

Las siguientes definiciones y ecuaciones son utilizadas para el cálculo de las diferentes propiedades del acuífero, y son presentadas aquí para que el lector tenga un entendimiento más completo del tema.

Descarga específica: Porcentaje de agua que está libre para su drenaje del acuífero, únicamente por la influencia de la gravedad. La descarga específica no es igual a la porosidad porque fuerzas moleculares y de tensión actúan para mantener los poros con agua.

Ecuación de Darcy: Esta ecuación describe que el flujo de agua que atraviesa una muestra del sedimento

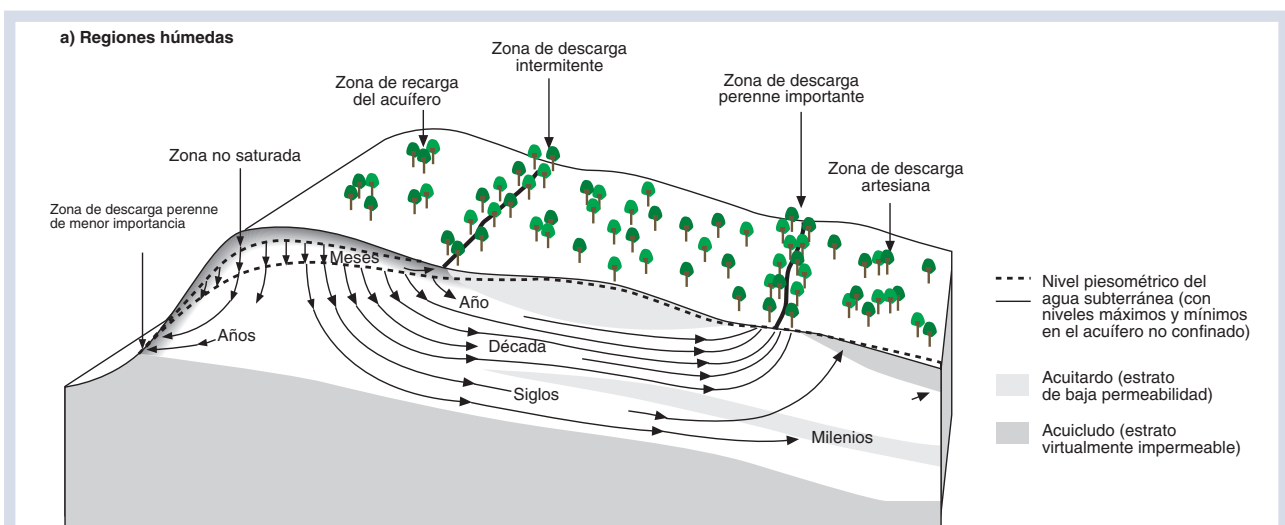


Figura 2.3. Flujo de aguas subterráneas mostrando valores de residencia de agua (tomado de Foster e Hirata, 1998).

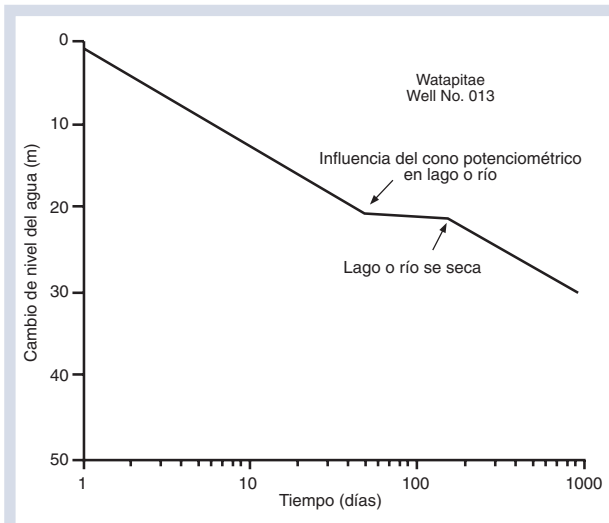


Figura 2.4. Ejemplo de cómo el bombeo continuo de agua de pozos cerca de ríos o lagos puede secar al río o lago. Se muestra el tiempo de bombeo en días y el cambio del nivel del acuífero.

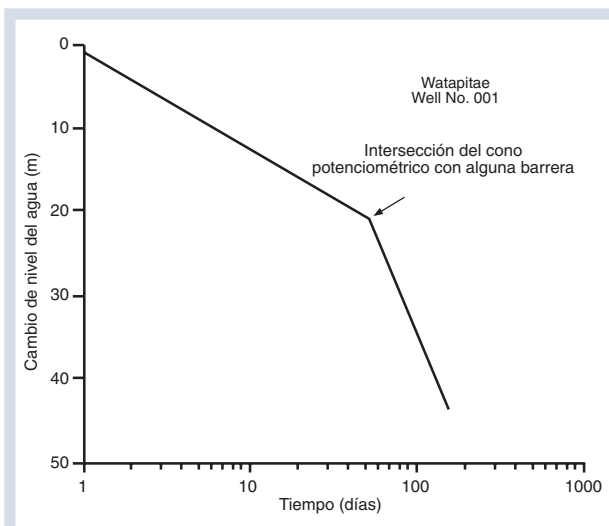


Figura 2.5. Ejemplo de cómo el nivel del acuífero puede bajar excesivamente después del bombeo continuo de agua si hay alguna barrera o formación geológica limitante en el acuífero.

es proporcional a la diferencia de la altura del agua entre los dos extremos, e inversamente proporcional a la longitud de la trayectoria del flujo. La cantidad de flujo es proporcional a la conductividad hidráulica.

$$Q = -KA \left(\frac{h_2 - h_1}{L} \right) = -KA \left(\frac{dh}{dl} \right)$$

Q = flujo
 K = conductividad hidráulica - función del medio poroso y del líquido que pasan por ella.

A = área

L = largo

h = columna hidráulica (ver Figura 2.1)

$$K = \frac{-Q}{A(dh/dL)}$$

Permeabilidad (k) o permeabilidad intrínseca (k_i en m^2 o Darcy) - propiedad del acuífero que mide la habilidad de transmitir agua por el medio poroso.

$$k = k_i \left(\frac{\gamma}{\mu} \right) = k_i \left(\frac{\rho g}{\mu} \right)$$

ρ - densidad

μ - viscosidad dinámica

g - gravedad

Densidad y viscosidad del fluido dependen de la temperatura, salinidad, y presión. Hay una relación entre conductividad hidráulica y permeabilidad que es aproximadamente:

$$K = 1 \times 10^7 k.$$

Transmisividad (m^2/s): Longitud saturada del acuífero multiplicado por conductividad hidráulica.

$$T = bK$$

donde b = longitud saturada del acuífero

Almacenamiento específico (m^{-1}): Cantidad de agua por unidad de volumen almacenada o retirada del acuífero, por unidad de cambio de la columna hidráulica.

$$S_s = \alpha_g(\alpha + \beta)$$

α = compresibilidad de material con poros

β = compresibilidad de agua

Almacenamiento (S): Volumen de agua que el acuífero puede absorber o soltar por unidad de superficie, por unidad de cambio de la columna hidráulica.

$S = bS_s$ (acuífero confinado) o $S = Sy + hS_s$ (acuífero libre) donde Sy = "specific yield" o sea, rendimiento específico.

El cálculo del volumen de agua disponible en un acuífero se puede hacer mediante las ecuaciones de almacenamiento, utilizando datos representativos del material del acuífero (Tabla 2.1.)

Tabla 2.1.
Valores referentes al almacenamiento potencial de agua en acuíferos (Davis & Cornwell, 1991)

Material del acuífero	Porosidad (%)	Almacenamiento específico (%)	Permeabilidad (m/s)
No consolidado			
Arcilla	55	3	1.2×10^{-6}
Limo (franco)	35	5	6.4×10^{-6}
Arena fina	45	10	3.5×10^{-5}
Arena media	37	25	1.5×10^{-4}
Arena gruesa	30	25	6.9×10^{-4}
Arena y grava	20	16	6.1×10^{-4}
Grava	25	22	6.4×10^{-3}
Consolidado			
Lutitas	<5	3	1.2×10^{-12}
Granito	<1	0	1.2×10^{-10}
Areniscas	15	5	5.8×10^{-7}
Caliza	15	2	5.8×10^{-6}
Roca Fracturada	5	2	5.8×10^{-5}

Más información sobre recursos de agua subterráneos puede ser encontrada en:

- <http://es.wikipedia.org/wiki/Acuifero> – página descriptiva de recursos de acuíferos en español.
- <http://www.groundwater.org/> - página descriptiva de los recursos de agua subterránea en inglés.
- Morris, B. L., Lawrence, A. R. L., Chilton, P. J. C., Adams, B., Calow R. C. and Klinck, B. A., 2003. *Groundwater and its Susceptibility to Degradation: A Global Assessment of the Problem and Options for Management*. Early Warning and Assessment Report Series, S. 03-3. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.
- FAO 2003. *Groundwater management: the search for practical approaches*, Water Report 25, Rome, Italy.

2.2. CONSIDERACIONES FISIOGRAFICAS Y SUELOS

Las consideraciones fisiográficas y de suelos son importantes para ayudar en la identificación de zonas con potencial de recursos acuíferos subterráneos. Varios estudios fisiográficos y de suelos ya fueron realizados en la región. Algunos ejemplos que describen las características fisiográficas y geomorfológicas son los siguientes:

- Plan de uso del suelo del departamento de Santa Cruz (PLUS, 1996)
- Estudios de suelos de Cochrane (1968 y 1972)

- Estudio Abapó-Izozog (en AGRAR and Hydro-technik, 1974)

Estos estudios fueron consultados para obtener mayores detalles de la fisiografía y los suelos de la región, a fin de relacionarlos con el potencial de agua subterránea y de riego.

2.2.1. FISIOGRAFÍA

En la Figura 2.6. mostramos una compilación del mapa PLUS del departamento de Santa Cruz. En ella se distinguen las categorías generales de las unidades fisiográficas. La descripción dada por el PLUS en términos fisiográficos y de suelos de cada una de estas unidades es la siguiente:

1. Estratos sedimentarios cretácicos y carboníferos del Chaco, casi plano: Paisaje deposicional aluvio-eólico, sector San José de Chiquitos; Entisoles, Inceptisoles, Oxisoles, suelos arenosos, de baja fertilidad, con erosión eólica y ocasional napa freática alta.
2. Estratos sedimentarios cretácicos y carboníferos del Chaco: Paisaje erosional de sedimentos consolidados (areniscas), Inceptis, Alfis, Aridis, suelos arenosos, de muy baja fertilidad, con erosión eólica e hídrica.
3. Estratos sedimentarios cretácicos y carboníferos del Chaco: Sedimentos consolidados cubiertos por material aluvial (Parapetí), Aridis, Vertis, ocas, salinos,

- textura de mediana a fina, drenaje de moderadamente bueno a imperfecto.
4. Estratos sedimentarios cretácicos y carboníferos del Chaco: Sedimentos consolidados cubiertas con material aluvio-eólico (dunas longitudinales), Inceptis, Alfis, Aridis, suelos arenosos, de muy baja fertilidad, con erosión eólica e hídrica.
 5. Llanura aluvial: Llanura aluvial antigua; Inceptisoles, Alfisoles y Vertisoles de buena fertilidad; en el Chaco Aridisoles; textura de moderada fina a fina; drenaje de moderadamente bueno a imperfecto.
 6. Llanura aluvial: Llanura de inundación; Inceptisoles y Vertisoles; hidromórficos; textura fina; ocasionalmente salina o alcalina.
 7. Llanura aluvial: Llanuras aluviales recientes; Entisoles, Inceptisoles y Alfisoles; fertilidad baja; textura de moderada gruesa a moderada fina; variadas condiciones de drenaje.
 8. Llanura aluvial: Llanuras eólicas; Entisoles e Inceptisoles; baja fertilidad, suelos arenosos sobre arcillas, formación de dunas, erosión eólica.
 9. Serranía: Serranías y colinas aisladas del chaco; estratos inclinados y escarpes; Entisoles, Inceptisoles, Alfisoles, Oxisoles; baja fertilidad; suelos arenosos, poco profundos, con erosión hídrica.
 10. Sub-andino: Colinas del Sub-andino; colinas disectadas; Inceptisoles, Alfisoles, y Oxisoles; en el sur Aridisoles; baja fertilidad, erosión hídrica.

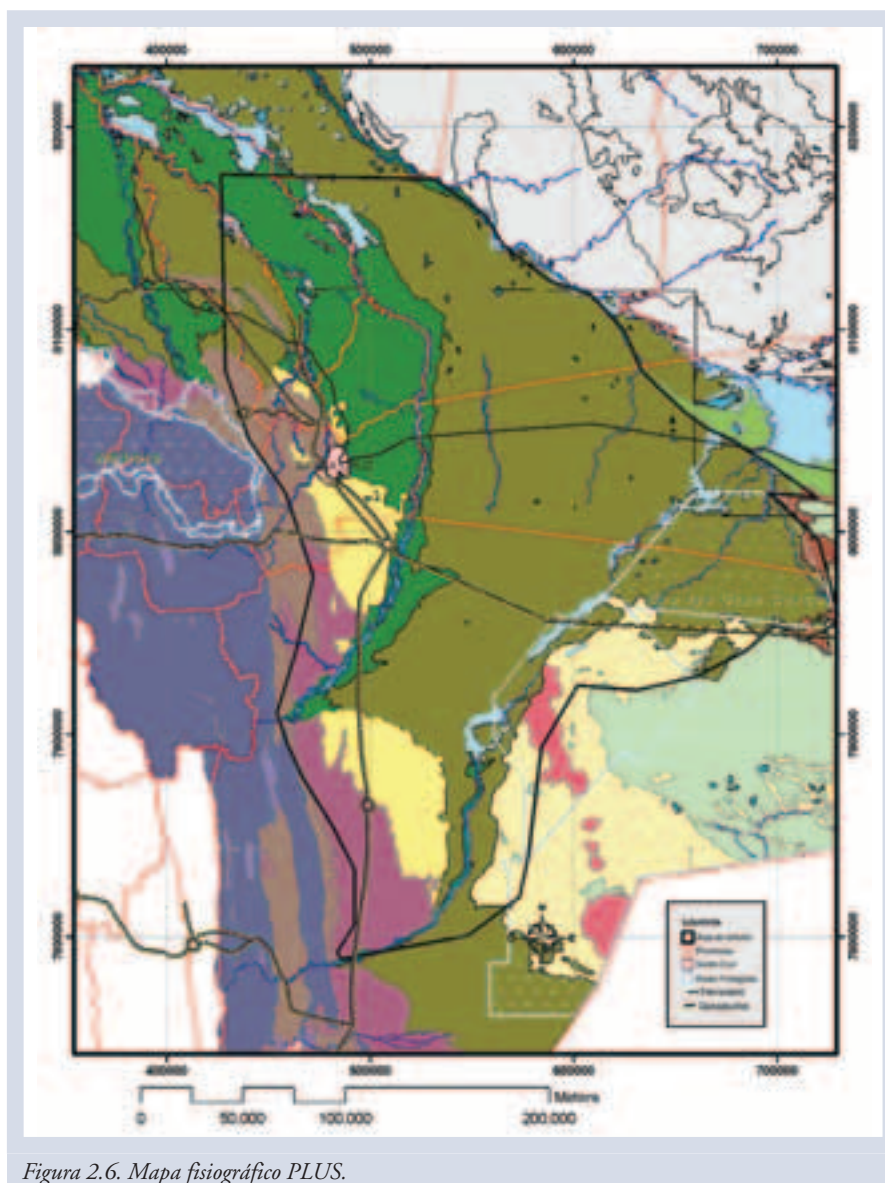


Figura 2.6. Mapa fisiográfico PLUS.

11. Sub-andino: Montañas, serranías del sub-andino; Entisoles, Oxisoles, Mollisoles; suelos poco profundos, de baja fertilidad, con erosión hídrica.
12. Sub-andino: Pie de monte, sub-andino; pie de monte, relieve colinoso, pendientes largas; Inceptisoles, Alfisoles, Mollisoles, en el sur Aridisoles; suelos arenosos, de baja fertilidad, con erosión hídrica.
13. Sub-andino: Valles del sub-andino; calles, deposiciones aluviales importantes, complejo de suelos de Enti, Incepti y Alfisoles; profundos, con erosión hídrica y bajo riesgo de salinización.

Mayores informaciones pueden ser encontradas en la Memoria del PLUS, 1996, en la cual se describe las propiedades de las unidades fisiográficas en detalle.

2.2.2. SUELOS

Para propósitos de riego, dividimos los suelos en tres categorías: liviano (arenoso), medio (limos y mezclas de arenas y arcillas), y pesado (arcillas). La división de los suelos en estas tres categorías se debe a la retención de agua que cada uno de ellos puede hacer. Suelos con texturas pesadas pueden retener más humedad aprovechable por plantas que los suelos livianos, los cuales no retienen mucha agua. Esto es importante para un buen manejo del sistema de riego y para calcular las necesidades de riego en relación al tipo de suelo. Los problemas de drenaje de suelos son también importantes para la agricultura en general y para el potencial de riego. Un ejemplo de la distribución de suelos (texturas) con referencia al drenaje se puede ver en la Figura 2.7., para la región norte de Santa Cruz. En este mapa podemos apreciar, en sentido norte, el incremento de los suelos, de livianos a pesados, de esta región. Por lo general hay una disminución de los suelos livianos (arenas) a medida que se avanza en dirección norte.

En general los suelos más pesados en textura se encuentran hacia el norte de Santa Cruz y están más alejados de los ríos principales. En la parte sur encontramos suelos de textura liviana y grandes cantidades de dunas de arenas. Los suelos de textura media son predominantes al norte de los rieles del ferrocarril y los suelos pesados pueden encontrarse dispersos en el norte de Santa Cruz. Esto implica que una recarga más rápida de posibles acuíferos profundos, mediante percolación profunda, puede ocurrir mayormente en el sur. Sin embargo, se tiene que tomar en cuenta las

características geológicas de las regiones, las cuales son descritas en la sección 2.3.

Infiltración y humedad disponible son los dos valores principales que se emplean en el manejo del riego. Valores promedio de la disponibilidad total de agua para cultivos son utilizados en los modelos de riego, los cuales se relacionan con las texturas de los suelos de la siguiente forma:

Suelos livianos:

Humedad disponible: 100 mm de agua por metro de suelo.

Suelos medianos:

Humedad disponible: 140 mm de agua por metro de suelo.

Suelos pesados:

Humedad disponible: 180 mm de agua por metro de suelo.

El mapa original (de Cochrane, 1972) indica también regiones de mal drenaje. En el momento se están realizando varios estudios en toda la región para deter-

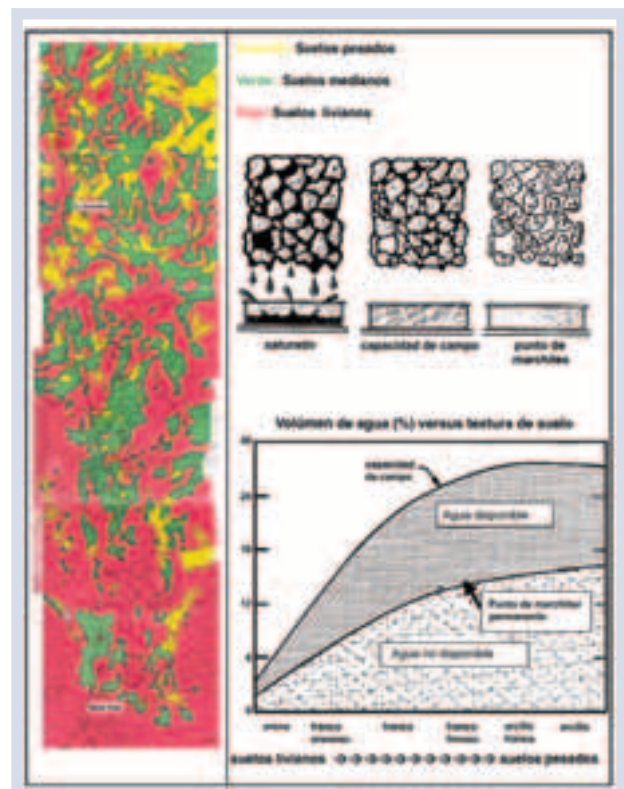


Figura 2.7. Ejemplo de textura de suelos de la región norte de Santa Cruz mostrando el incremento de suelos arcillosos hacia el norte y cuadro con relación de textura versus agua disponible. Adaptado del levantamiento de suelos por el Dr. Thomas T. Cochrane, Misión Británica Agricultura Tropical, 1972.

minar las áreas mal drenadas por medio del análisis y la interpretación de imágenes satelitales y de radar.

2.3. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, ESTRATIGRÁFICAS Y LITOLÓGICAS

2.3.1. CONSIDERACIONES GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS

El campo de la geología y geomorfología fue y sigue siendo estudiado por YPF y otras empresas privadas en la búsqueda de petróleo y gas. También realizó estudios en esta región el Servicio Geológico de Bolivia para la explotación de minerales y áridos (Figura 2.8.) En el caso específico de la exploración de la fuente de aguas subterráneas, se hizo uso de la citada información para cono-

cer: el tipo de relieve, la situación geológica de la región, el tipo de estructuras geológicas, su estratificación, la secuencia litológica, la granulometría, y también el espesor y la profundidad de las capas (información basada en los datos de las perforaciones para petróleo, gas y agua). Este análisis permitirá definir el tipo de acuífero, su extensión y, además, hacer una estimación del almacenamiento. Previamente a ello, haremos una descripción de los puntos indicados.

En la Figura 2.9. se da la ubicación de dos cortes geológicos estructurales del subsuelo A-A' realizados por YPF, y del B-B' para pozos de diferentes empresas. En la Figura 2.10. y en la Figura 2.11. se puede ver el tipo de estructura geológica del subsuelo, la ubicación de las distintas formaciones, el espesor y la profundidad de cada

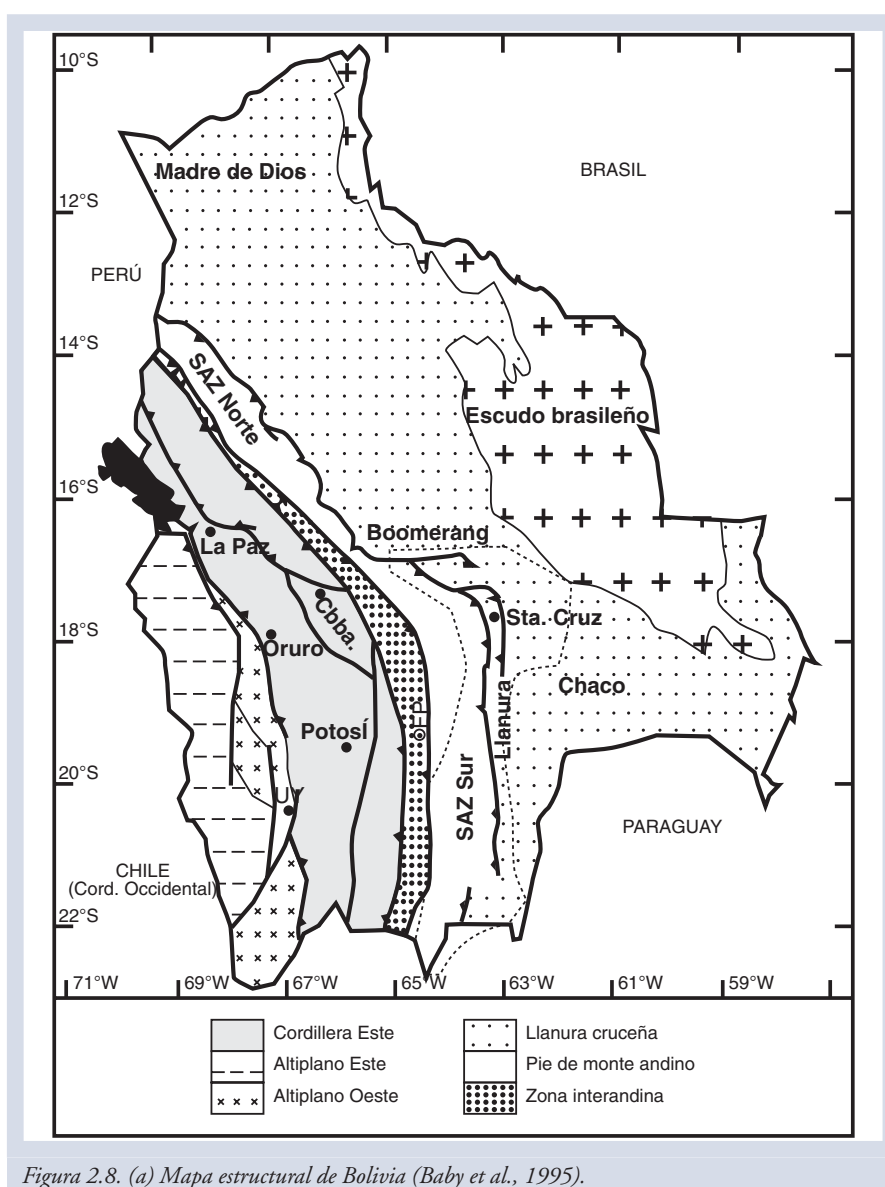
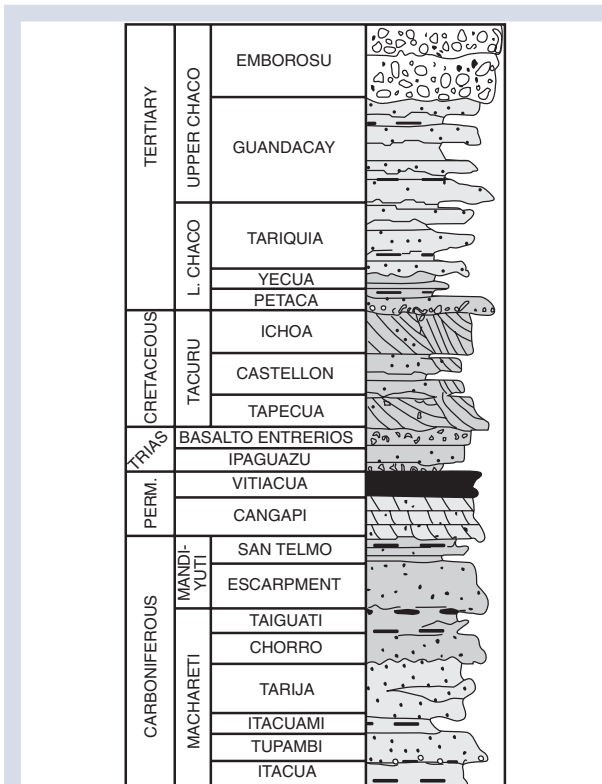


Figura 2.8. (a) Mapa estructural de Bolivia (Baby et al., 1995).



Figuras 2.8. (b) Columna estratigráfica de la región subandina sur (de Moretti et al., 1996) – (Husson y Moretti, 2002).

una de las unidades que conforman las estructuras geológicas; en este caso particular sólo se han considerado aquellas que revisten importancia para la explotación del agua subterránea. Entre ellas se encuentran los depósitos cuaternarios y las formaciones Chaco Superior e Inferior del sistema terciario. En cambio, las formaciones Yecua y Petaca que también pertenecen a este sistema, así como las formaciones Cajones, Yantata e Ichoa del sistema cretácico, no se consideran de interés, por el momento, para la explotación de las aguas subterráneas por encontrarse por debajo de los 1.500 m en la parte sur de la ciudad de Santa Cruz (ver corte estructural A-A' en la Figura 2.11). En cambio, en la parte norte, a la altura de la localidad de Caranda, los depósitos no llegan a los 500 m (ver corte estructural B-B' en la Figura 2.10), a excepción de la formación Yecua que está formada por una granulometría muy fina, lo que la constituye en un lecho impermeable. Para fines de evaluación de la fuente de agua subterránea, se considera esta formación un límite inferior de la cuenca hidrogeológica.

En los cortes estructurales A-A' y B-B' se muestra el orden de disposición de las formaciones geológicas, así como también el espesor y profundidad de cada unidad.

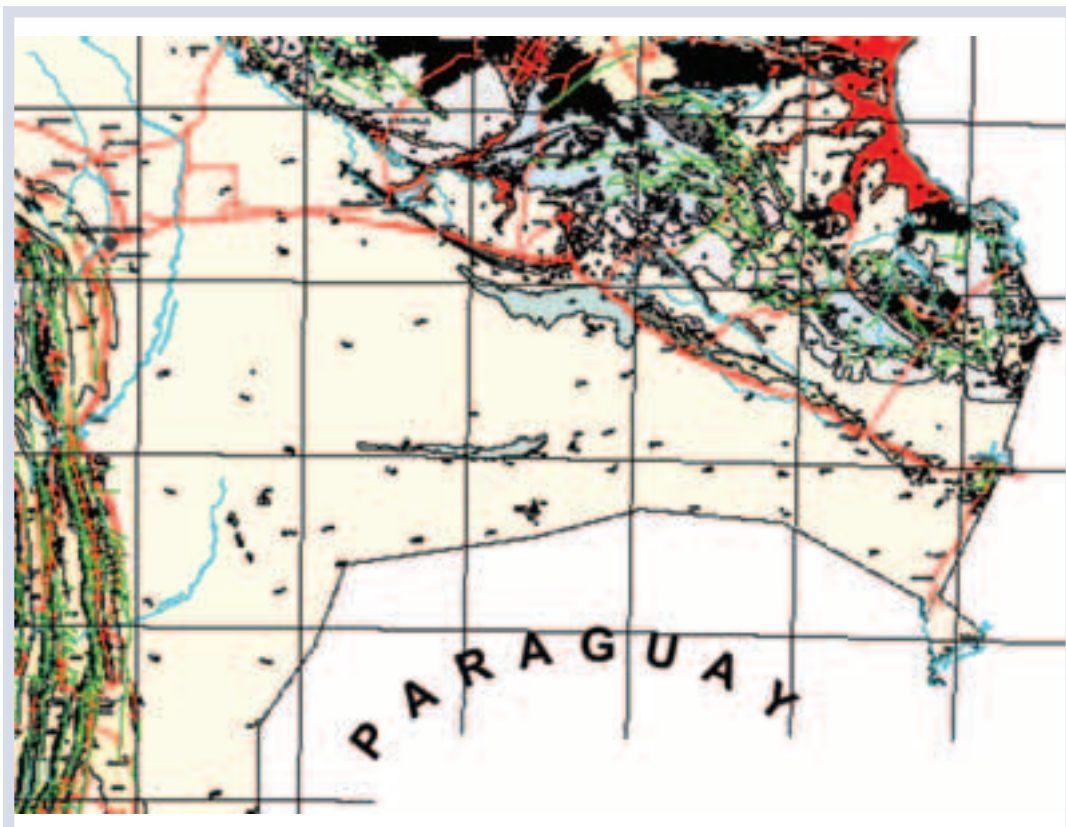


Figura 2.8. (c) Mapa geológico de Bolivia (SERGEOMIN 2001).

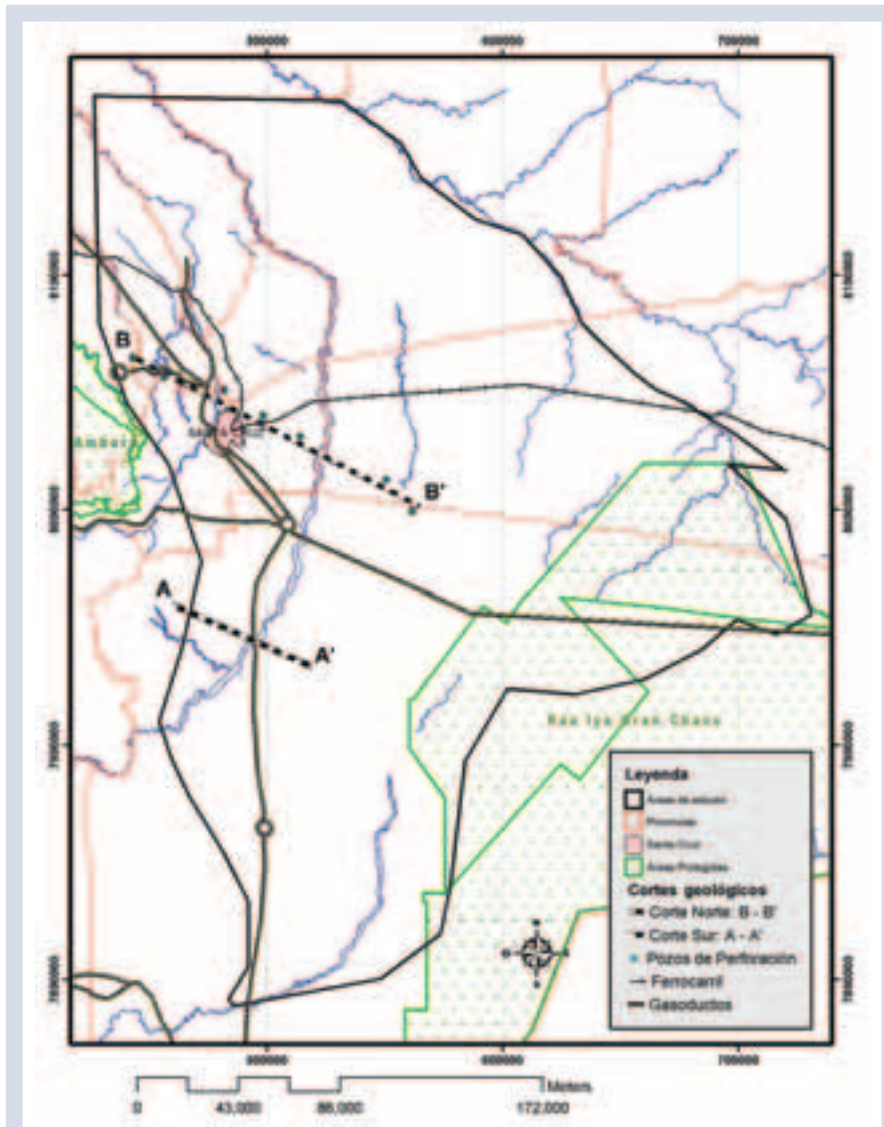


Figura 2.9. Mapa mostrando dos cortes geológicos de la región; al norte y al sur.

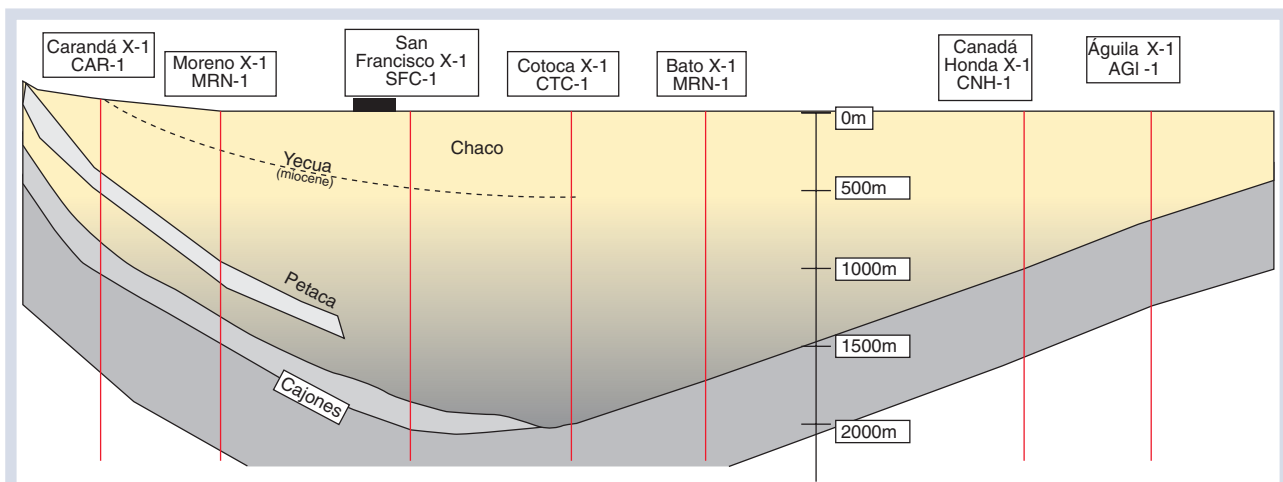


Figura 2.10. Corte geológico del subsuelo norte derivado de perforaciones de pozos petrolíferos (B-B').

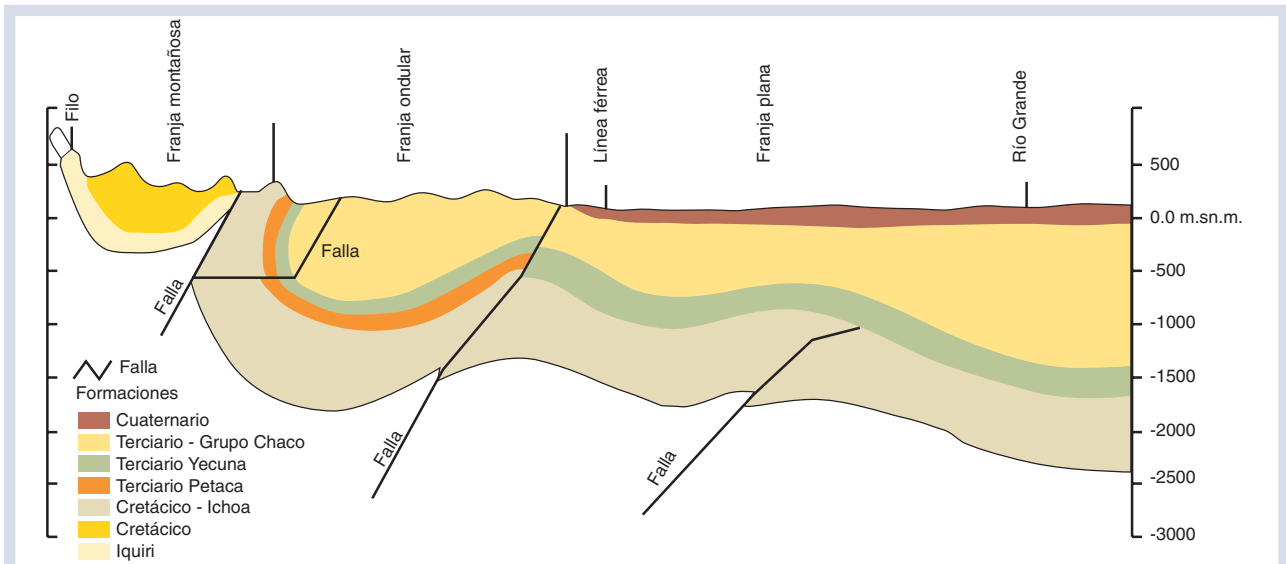


Figura 2.11. Corte geológico del subsuelo sur mostrando estratigrafía de la región (A-A').

Este orden es el siguiente:

Cuaternario: Depósitos aluviales.

Terciario: Formación Chaco Superior, Chaco Inferior, Yecua y Petaca.

Cretácico: Formación Cajones, Yantata e Ychoa.

La descripción de cada una de estas formaciones está dada en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2
Formaciones geológicas en la región de estudio

Edad	Formación	Espesor	Descripción litológica	
Cuaternario	Pleistoceno	Aluvial	10-70	Suelos aluviales compuestos de capas arenosas, de granulometría fina a gruesa, con arcillas rojizas. El espesor de las capas varía de 1 a 30 m. Predominancia de arenas y gravas intercaladas con delgadas capas de arcilla de espesor de 1-10 m. Los granos de arena y grava se encuentran unidos por cemento calcáreo débilmente endurecido.
	Terciario	Plioceno	Chaco Superior	1.000
		Chaco Inferior	670	Alternancia de capas de arena de grano fino a medio, unidas con cemento calcáreo endurecido, con capas de arcillas rojizas oscuras, y limonitas grises claras. El espesor de las capas de arcillas es de 1 a 20 metros.
Eoceno		Yecua	300	Predominancia de arcillas rojizas oscuras, arcillitas rojizas, verduscas, violetas; con espesor de 1 a 3 metros e intercaladas con delgadas capas de areniscas y lutitas grises. En la localidad de Abapó se encuentra las areniscas intercaladas con caliza.
Oligoceno		Petaca	200	La base de esta unidad está formada por un conglomerado polimictico brechoso, de color blanquecino y rojizo, con elastos ángulos y sub redondos de 5 a 100 cm de diámetro.
Cretácico		Cajones	50-300	Formada por capas de areniscas calcáreas y calizas arenosas, intercaladas con delgadas lentes de lutitas.
		Yantata	110-240	Predominancia de areniscos de granos gruesos a medios, subredondeados y de buena selección, friables, porosos y permeables; con escaso matriz limoso, color amarillento.
		Ichoa	150-480	Formada por areniscas rojizas de grano medio a fino redondeado, blanquecinas amarillentas y verduscas. Son de granos medios a finos, redondeados, bien seleccionados, de estructura entrecruzada.

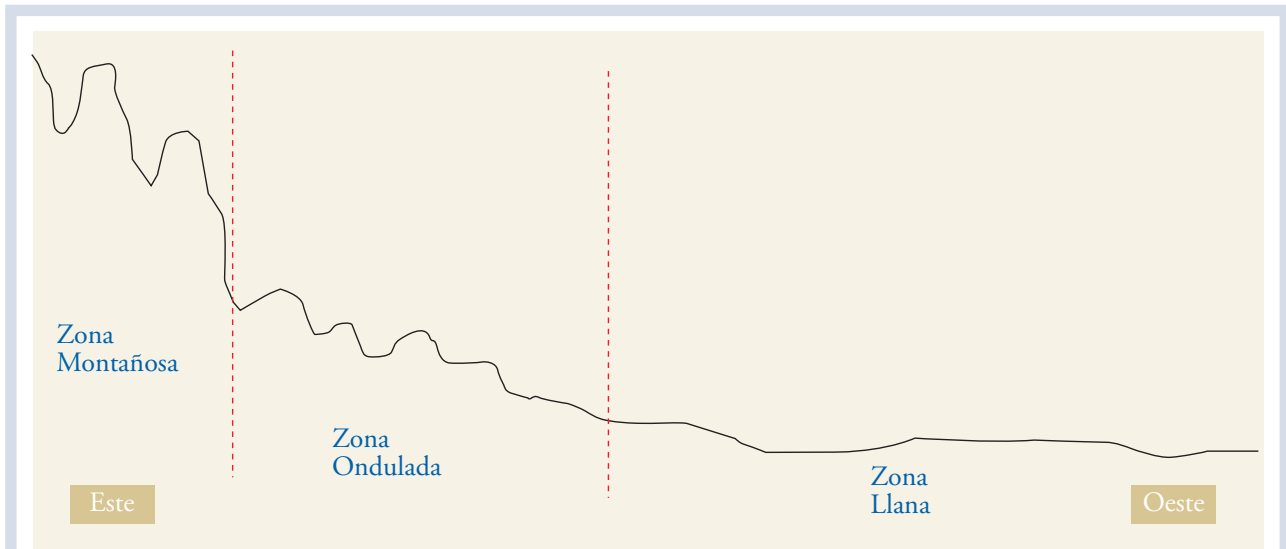


Figura 2.12. Descripción básica de tres zonas predominantes de la región de estudio.

En el mapa topográfico de la Figura 1.4, y el mapa fisiográfico del PLUS de la Figura 2.6, se pueden distinguir tres tipos de relieve, y en la Figura 2.12 se representa esta situación.

El primer tipo de relieve es montañoso, se encuentra en el extremo occidental y está compuesto de una serie de serranías de forma alargadas y angostas que forman parte de la faja subandina; la impresión general es la de una alternancia de valles profundos, cuyas diferencias de desnivel son del orden de 1.940 msnm y sus pendientes mayores a 15%. Los cursos de agua que se drenan en esta zona montañosa son de régimen permanente y siguen un rumbo sur casi paralelo a las serranías. Uno de los principales ríos es el Moroco, que luego cambia de nombre y se llama río Rositas un poco antes de descargar aguas en el Río Grande. Otros ríos de importancia para el aprovechamiento de las aguas son el río Piraí y el Parabano. El escurrimiento de éste sigue una dirección sureste hasta empalmar con el Río Seco, en el que descarga sus aguas. Este último, después de recorrer unos kilómetros, pierde todo su caudal por infiltración de su amplio lecho colmatado de sedimentos de alta porosidad y permeabilidad, lo que lo convierte en una importante fuente de recarga del depósito subterráneo. Sólo en la época de lluvias descarga en el Río Grande.

En la superficie de esta zona montañosa se encuentran afloramientos de rocas sedimentarias cretácicas y carboníferas, las cuales se encuentran muy deformadas (plegadas y fracturadas). Estas deformaciones de las rocas son uno de los factores que inciden en la formación de

la red de drenaje y en la infiltración del agua de lluvia. Otro de los factores que también tiene gran significación es la granulometría, el tipo de cemento y el grado de cementación, el espesor de los estratos porosos y permeables. Estas características son descritas, para cada una de las formaciones geológicas, en la Tabla 2.2. Todos estos factores inciden para que un acuífero tenga la capacidad de almacenar agua en cantidades suficientes como para que sean explotadas. Esta hipótesis parece ser válida por el hecho de que los cursos de agua que surcan la zona montañosa son de régimen permanente, lo que se debe al aporte que reciben de los acuíferos durante el periodo de estiaje. Como ejemplo tenemos a los ríos Moroco, Piraí, Parabano y otros en menor proporción.

El segundo tipo de relieve es ondulado y ocupa una franja de unos 20 km de ancho, entre el relieve montañoso y el llano. Está formado por un conjunto de pequeñas colinas y valles amplios que siguen una dirección norte-sur, entrecortados por la red de drenaje, la cual avanza del oeste hacia el este. La mayoría de los cursos de agua que drenan esta franja son de régimen efímero. Como hemos dicho, el escurrimiento de las aguas en la época de lluvias siguen una dirección oeste-este y corta la estructura de las rocas. Las aguas, después de ingresar al relieve llano y recorrer algunos kilómetros, pierden todo su caudal por infiltración y en parte por evaporación, dando lugar a la formación de abanicos de sedimentos.

En la superficie de esta zona ondulada afloran rocas sedimentarias de granulometría predominante-

mente fina, correspondientes a la formación Chaco Inferior, lo que constituye un factor no muy favorable para el almacenamiento de agua. Una prueba real de ello es que los pozos construidos para agua ubicados en esta franja han resultado de bajo rendimiento, del orden 1 a 5 l/s (litros por segundo) para profundidades de 200 a 350 m y niveles del agua subterránea de 150 a 240 m, en la zona sur. La excepción son aquellos pozos que se encuentran ubicados en los antiguos abanicos aluviales, que dan caudales del orden de 20 a 50 l/s para profundidades de hasta 200 m.

El tercer tipo de relieve es llano, y se caracteriza por tener una pendiente suave y uniforme, del oeste a este, la cual va disminuyendo paulatinamente desde los 600 hasta los 250 msnm, donde están los bañados de Izozog. Esta zona es drenada por pequeños arroyos de régimen efímero. La zona de relieve llano está situada en el sector oriental de Santa Cruz y ocupa todo el territorio de la TCO-Kaa-Iya y de la subregión integrada de Santa Cruz. En la superficie no se observa afloramiento de rocas. Está formada por suelos aluviales de edad cuaternaria, compuesta en su mayor parte por grava y arena e intercaladas con capas de arcillas de espesor variable de 1 a 10 metros. Estos suelos fueron transportados por los ríos Parapetí, Grande, Pirá y otros de menor magnitud y depositados sobre la formación Chaco Superior, que también presenta las mismas características que los depósitos cuaternarios. En cambio, la formación Chaco Inferior, que se encuentra por debajo del Chaco Superior, es de granulometría predominantemente fina. Por lo expuesto en las líneas anteriores se puede concluir, en términos generales, que en la zona de relieve llano se encuentra, por debajo de la superficie, una gran estructura geológica que fue rellenada en su parte superior por sedimentos de alta porosidad y permeabilidad, correspondientes a la formación Chaco y a los depósitos cuaternarios. En el límite inferior de esta estructura se encuentra un lecho impermeable constituido por la formación Yecua, lo que forma un importante depósito de aguas subterráneas.

2.3.2. PERFILES LITOLÓGICOS DE LOS POZOS EN LA REGIÓN DE ESTUDIO

Actualmente, en el área de estudio existe una cantidad elevada de pozos de diámetros variables, perforados con fines de abastecimiento de agua. En el Anexo

10.4 se puede encontrar un registro de datos sobre la construcción de pozos, datos que se obtuvieron de instituciones estatales, privadas, cooperativas de servicio de agua y personas particulares.

Lamentablemente, hay una marcada heterogeneidad en la descripción de los perfiles litológicos de los pozos, lo que dificulta su correlación. Sin embargo, los datos obtenidos del proyecto Abapó-Izozog, ubicado al sur del Río Grande, muestran una buena correlación litológica (Figura 2.15.); se observa una variación litológica en la profundidad y el espesor de las capas, en sentido horizontal. Estas características constituyen una de las formas típicas de deposición de los suelos aluviales.

En la Figura 2.13. se muestra la ubicación de los pozos de los que fue posible obtener un perfil litológico (datos del subsuelo), tratando en lo posible de cubrir toda el área en estudio; los mismos son:

Zona Este (Tabla 2.3.):

- Tres Cruces: Provincia de Chiquitos, Zona Expansión Este.
- Tita N° 3: Provincia Cordillera, zona de los bañados.

Zona Sur-Oeste (Tabla 2.4. y Tabla 2.5.):

- Yatairenda: Provincia Cordillera, municipio Cabezas.
- Itaí: Provincia Cordillera, zona del sub-andino.

Zona Norte (Tabla 2.6.):

- Zafrero: Provincia Guarayos, Zona Norte Expansión
- Aguahis: Provincia O. Santisteban, Zona Norte Integrada.
- Nueva Esperanza: Provincia Warnes, zona cuenca del Río Grande norte.
- Candelaria: Provincia Warnes, Zona Norte Integrada.

Zona Sur (Tabla 2.7.):

- Guarirenda: Provincia Cordillera, zona Parapetí.
- Algarrobilla: Provincia Cordillera, zona Parapetí.
- Tamachindi: Provincia Cordillera, zona Parapetí.

Santa Cruz de la Sierra (Tabla 2.8.):

- Santa Cruz: Provincia Andrés Ibáñez, pozos de Saguapac (muestran una gran variación litológica entre pozos cercanos, lo que dificulta el hacer una correlación entre ellos).

Pozos de la localidad Tita (cercanos al río Parapetí):

- Localización y datos de pozos Tita: cerca al río Parapetí y los bañados (Tabla 2.9. y Figura 2.14.)

- Correlación litológica de los pozos Tita (Tabla 2.10. Correlación litológica de pozo para agua zona Tita)

El perfil litológico de cada uno de estos pozos es descrito en las tablas que siguen. Estas se presentan con la finalidad de facilitar a los interesados una información del subsuelo, que aunque específica permita hacerse una idea de la profundidad y el espesor de las capas atravesadas y del tipo de suelo y de formación.

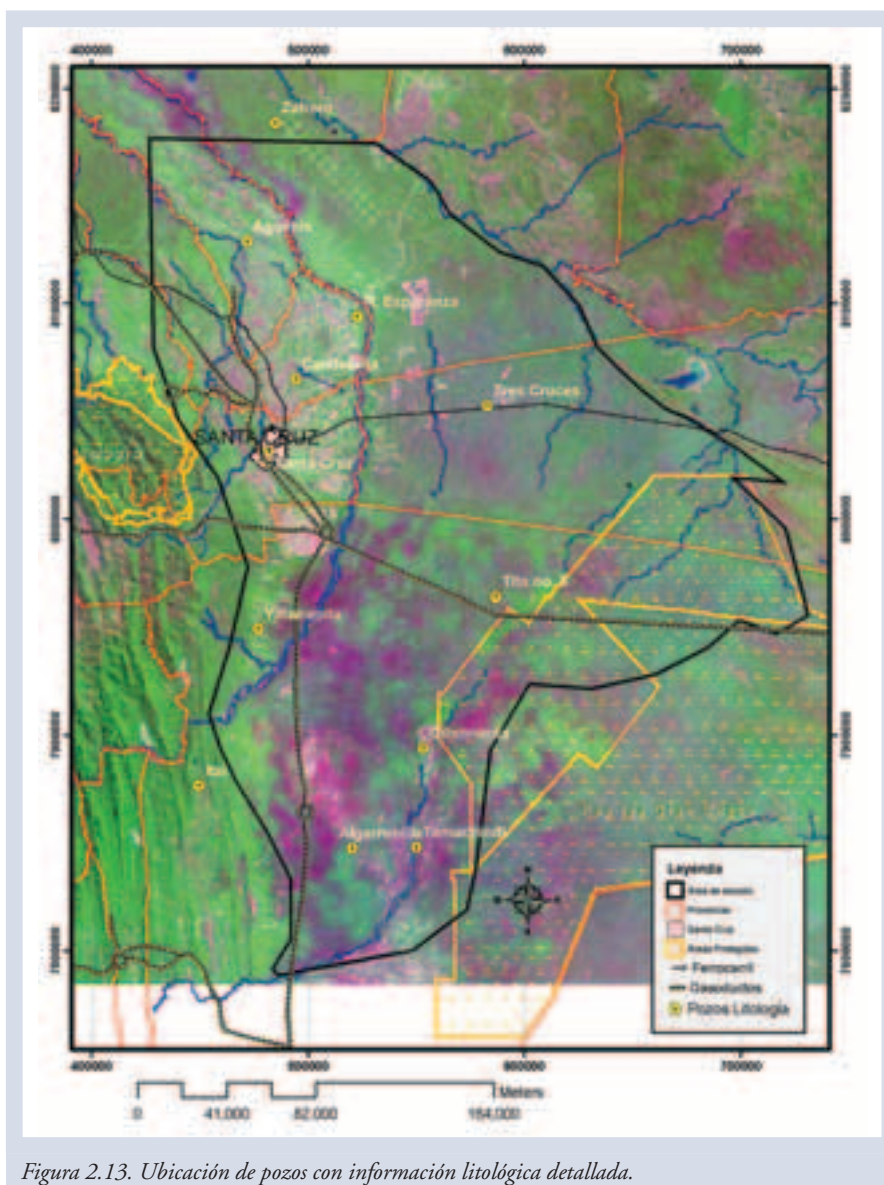


Tabla 2.3
Perfiles litológicos de pozos para agua de la zona Este de Santa Cruz

Tres Cruces		Tita N° 3	
1	arcilla	1	arcilla
2	arcilla	2	arcilla
3	arcilla	3	arcilla
4	arcilla	4	arcilla
5	arcilla	5	arcilla
6	arcilla	6	arcilla
7	arcilla	7	arcilla
8	arcilla	8	arcilla
9	arcilla	9	arcilla
10	arcilla	10	arcilla
11	arcilla	11	arcilla
12	arcilla	12	arena arcillosa
13	arcilla	13	arena arcillosa
14	arcilla	14	arena arcillosa
15	arcilla	15	arena arcillosa
16	arcilla	16	arena arcillosa
17	arcilla	17	arena arcillosa
18	arcilla	18	arena arcillosa
19	arcilla	19	arena arcillosa
20	arcilla	20	arena arcillosa
21	arcilla	21	arena arcillosa
22	arcilla	22	arena arcillosa
23	arcilla	23	arena arcillosa
24	arcilla arenosa	24	arena arcillosa
25	arcilla arenosa	25	arena arcillosa
26	arcilla arenosa	26	arena arcillosa
27	arcilla arenosa	27	arena arcillosa
28	arcilla arenosa	28	arena arcillosa
29	arcilla arenosa	29	arena arcillosa
30	arena media y gruesa	30	arcilla
31	arena media y gruesa	31	arcilla
32	arena media y gruesa	32	arcilla
33	arena media y gruesa	33	arcilla
34	arcilla arenosa	34	arcilla
35	arcilla arenosa	35	arcilla
36	arcilla arenosa	36	arcilla
37	arcilla arenosa	37	arcilla
38	arcilla arenosa	38	arcilla
39	arcilla arenosa	39	arcilla
40	arena	40	arena arcillosa
41	arena	41	arena arcillosa
42	arena	42	arena arcillosa
43	arena	43	arena arcillosa
44	arena	44	arena arcillosa
45	arena	45	arena arcillosa
46	arena	46	arena arcillosa
47	arena	47	arena arcillosa
48	arena fina	48	arena arcillosa
49	arena fina	49	arena arcillosa
50	arena fina	50	arena arcillosa
51	arena fina	51	arena arcillosa
52	arena fina	52	arena arcillosa
53	arena fina	53	arena arcillosa
54	arcilla	54	arena arcillosa
55	arcilla	55	arena arcillosa
56	arcilla	56	arcilla arenosa
57	arcilla	57	arcilla arenosa
58	arcilla	58	arcilla arenosa
59	arcilla	59	arcilla arenosa
60	arcilla	60	arena arcillosa
61	arcilla	61	arena arcillosa
62	arcilla	62	arena arcillosa
63	arcilla	63	arena arcillosa
64	arcilla	64	arena arcillosa
65	arena arcillosa	65	arena arcillosa
66	arena arcillosa	66	arena arcillosa
67	arena arcillosa	67	arena arcillosa
68	arena arcillosa	68	arena arcillosa
69	arena arcillosa	69	arcilla arenosa
70	arena	70	arcilla arenosa
71	arena	71	arena
72	arena	72	arena
73	arena	73	arena
74	arena	74	arena
75	arena	75	arena
76	arena	76	arena
77	arena	77	arena
78	arena fina	78	arena
79	arena fina	79	arena
80	arena fina	80	arena
81	arena fina	81	arcilla arenosa
82	arcilla	82	arcilla arenosa
83	arena	83	arena
84	arena	84	arena
85	arena	85	arena
86	arena	86	arcilla
87	arena fina	87	arcilla
88	arena fina	88	arcilla
89	arena fina		
90	arena arcillosa		
91	arena arcillosa		
92	arcilla		
93	arena		
94	arena		
95	arena		
96	arena		
97	arcilla		
98	arcilla		
99	arcilla		
100	arcilla		
101	arcilla		
102	arcilla		

Tabla 2.4
Perfiles litológicos de pozos para agua de la localidad Yarirenda del municipio Cabezas

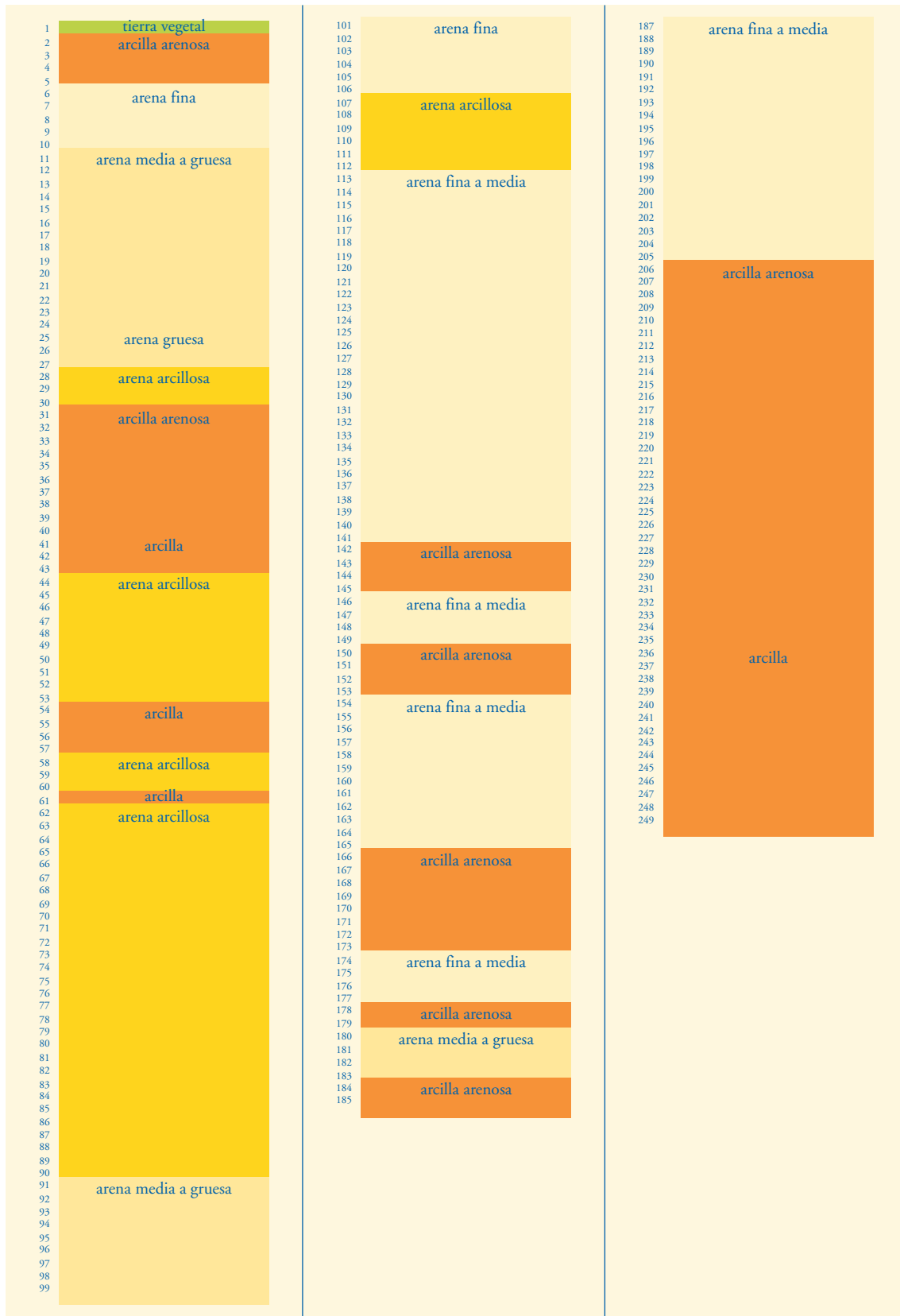


Tabla 2.5
Perfiles litológicos de pozos para agua de la localidad Itai de la provincia Cordillera

1	tierra vegetal	100	arena fina a media	196	arcilla	288	arena arcillosa
2		101	un poco arcillosa	197		289	
3	arena fina limosa	102		198		290	
4		103		199		291	
5		104		200		292	
6		105		201		293	
7		106		202		294	
8		107		203		295	arcilla
9		108		204		296	arena arcillosa
10		109	arena fina a media	205		297	
11		110		206		298	
12	arena arcillosa	111		207		299	
13		112		208		300	
14		113		209		301	
15		114		210		302	
16		115		211		303	
17		116		212		304	
18		117		213		305	
19		118	arena arcillosa	214		306	
20		119		215		307	
21		120		216		308	
22		121		217		309	
23		122		218		310	
24		123		219		311	
25	arena	124		220		312	
26		125		221		313	
27	arena arcillosa	126		222		314	
28		127		223		315	
29		128		224		316	
30		129		225		317	
31		130		226		318	
32		131		227		319	
33		132		228		320	
34	arena media a gruesa	133		229		321	
35	un poco arcillosa	134		230		322	
36		135		231	arena arcillosa	323	arena
37		136		232		324	
38		137		233		325	arena arcillosa
39		138		234		326	
40		139		235		327	
41		140		236		328	
42		141		237		329	
43		142		238		330	
44		143		239		331	
45		144		240		332	
46		145		241		333	
47		146		242		334	
48		147		243		335	
49		148	arcilla	244		336	
50		149		245	arcilla	337	
51		150		246		338	
52		151		247		339	
53		152		248		340	
54		153		249		341	
55		154		250		342	
56		155		251		343	
57		156		252		344	
58		157		253		345	
59		158		254		346	
60		159		255		347	
61		160		256		348	
62		161		257		349	
63		162		258	arcilla arenosa		
64		163		259			
65		164		260			
66		165		261			
67		166	arena arcillosa	262			
68		167		263			
69		168		264			
70		169		265			
71		170		266			
72		171		267			
73		172		268			
74		173		269			
75		174		270	arcilla		
76		175		271			
77		176		272			
78		177		273			
79		178		274			
80		179		275			
81		180		276			
82		181		277			
83		182		278			
84		183		279	arcilla arenosa		
85		184		280			
86		185		281			
87		186		282			
88		187		283			
89		188		284			
90		189		285			
91		190		286			
92		191		287			
93		192					
94		193					
95		194					
96		195					
97							
98							
99							

Tabla 2.6
Perfiles litológicos de pozos para agua de la zona norte de Santa Cruz

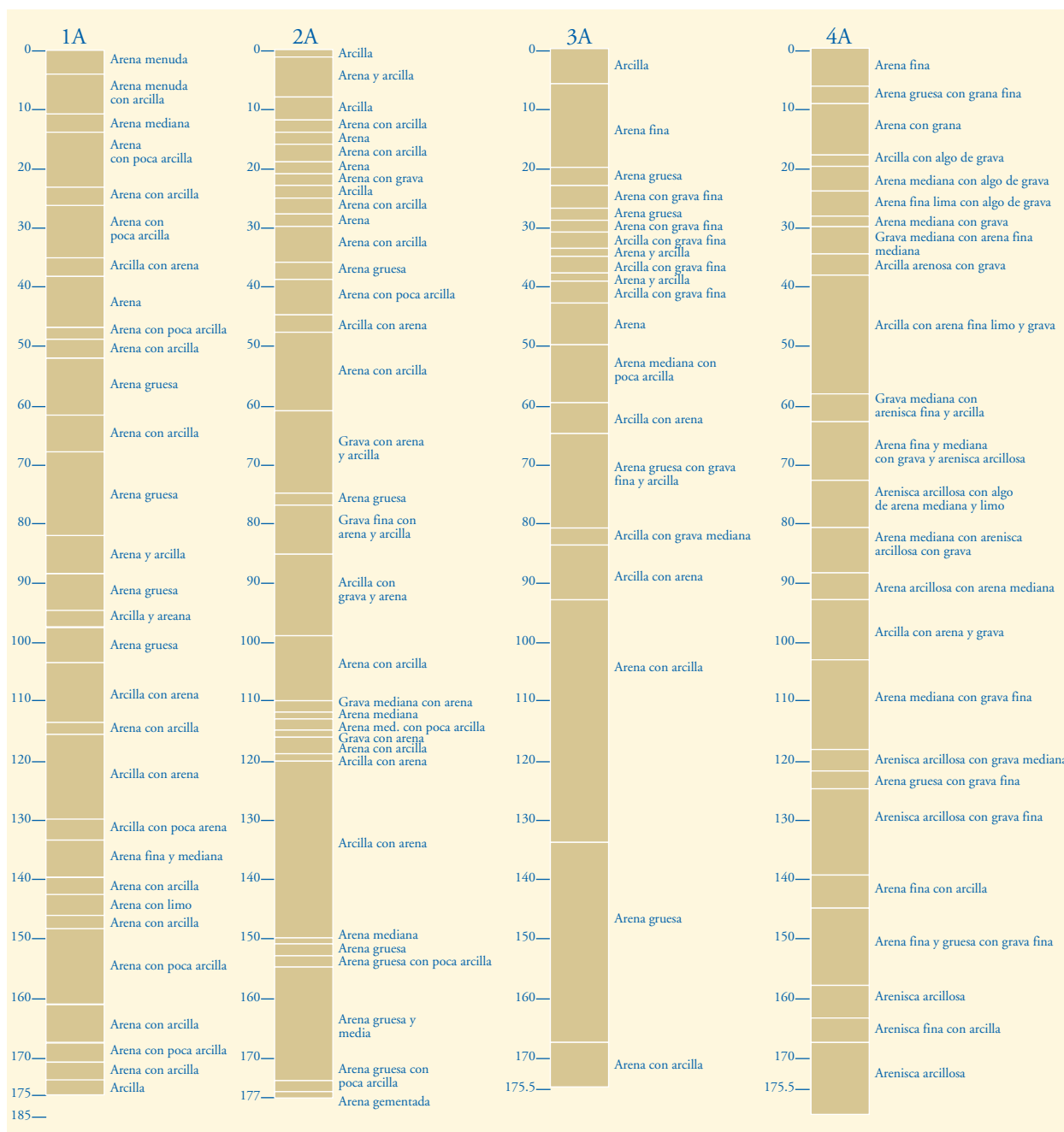
Aguahis	Candelaria	Nueva Esperanza	Zafrero
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	6	6	6
7	7	7	7
8	8	8	8
9	9	9	9
10	10	10	10
11	11	11	11
12	12	12	12
13	13	13	13
14	14	14	14
15	15	15	15
16	16	16	16
17	17	17	17
18	18	18	18
19	19	19	19
20	20	20	20
21	21	21	21
22	22	22	22
23	23	23	23
24	24	24	24
25	25	25	25
26	26	26	26
27	27	27	27
28	28	28	28
29	29	29	29
30	30	30	30
31	31	31	31
32	32	32	32
33	33	33	33
34	34	34	34
35	35	35	35
36	36	36	36
37	37	37	37
38	38	38	38
39	39	39	39
40	40	40	40
41	41	41	41
42	42	42	42
43	43	43	43
44	44	44	44
45	45	45	45
46	46	46	46
47	47	47	47
48	48	48	48
49	49	49	49
50	50	50	50
51	51	51	51
52	52	52	52
53	53	53	53
54	54	54	54
55	55	55	55
56	56	56	56
57	57	57	57
58	58	58	58
59	59	59	59
60	60	60	60
61	61	61	61
62	62	62	62
63	63	63	63
64	64	64	64
65	65	65	65
66	66	66	66
67	67	67	67
68	68	68	68
69	69	69	69
70	70	70	70
71	71	71	71
72	72	72	72
73	73	73	73
74	74	74	74
75	75	75	75
76	76	76	76
77	77	77	77
78	78	78	78
79	79	79	79
80	80	80	80
81	81	81	81
82	82	82	82
83	83	83	83
84	84	84	84
85	85	85	85
86	86	86	86
87	87	87	87
88	88	88	88
89	89	89	89
90	90	90	90
91	91	91	91
92	92	92	92
93	93	93	93
94	94	94	94
95	95	95	95
96	96	96	96
97	97	97	97
98	98	98	98
99	99	99	99
100	100	100	100
101	101	101	101
102	102	102	102
103	103	103	103
104	104	104	104
105	105	105	105
106	106	106	106
107	107	107	107
108	108	108	108
109	109	109	109
110	110	110	110
111	111	111	111
112	112	112	112
113	113	113	113
114	114	114	114
115	115	115	115
116	116		
117	117		
118	118		
119	119		
120	120		
121	121		
122	122		
123	123		
124	124		
125	125		
126	126		
127	127		
128	128		
129	129		
130	130		
131			

Tabla 2.7
Perfiles litológicos de pozos para agua de la zona sur de Santa Cruz

Algarrobilla		Guarirrenda		Tamachindi	
1		1	arena	1	arena
2	arena	2		2	
3		3		3	
4		4		4	
5		5		5	
6		6		6	
7		7		7	
8		8		8	
9		9		9	
10		10		10	
11		11		11	
12		12		12	
13		13		13	
14		14		14	
15		15		15	
16		16	arcilla	16	
17	arcilla	17		17	
18		18		18	
19		19		19	
20	arena	20		20	
21		21		21	
22		22	arena fina	22	
23		23		23	
24		24		24	arcilla
25		25		25	
26		26		26	
27		27		27	
28		28	arena gruesa	28	
29		29		29	
30		30		30	
31		31		31	
32		32	arcilla	32	
33		33		33	arcilla arenosa
34		34		34	arena fina
35		35		35	arena arcillosa
36		36		36	
37		37	arena gruesa	37	
38		38		38	
39		39		39	
40		40		40	
41		41		41	
42		42		42	
43		43		43	
44	arena arcillosa	44		44	
45		45		45	
46		46		46	arena fina
47		47		47	
48		48		48	
49		49	arena arcillosa	49	
50		50		50	arena gruesa
51		51		51	
52	arena gruesa	52		52	
53		53		53	
54		54	arena colorada	54	arena arcillosa
55		55		55	
56		56		56	
57		57		57	
58		58		58	
59		59		59	
60	arena arcillosa	60		60	arena gruesa
61		61		61	
62		62		62	
63		63		63	arena arcillosa
64		64		64	
65		65		65	
66		66	grava arcillosa	66	
67		67		67	
68	arena gruesa	68		68	arena fina
69		69	arcilla con grava	69	
70		70		70	
71		71		71	arena media
72	arena fina	72		72	
73		73		73	
74		74	arcilla	74	
75		75		75	
76	arena arcillosa	76		76	
77		77		77	
78		78		78	
79		79		79	
80		80		80	
81		81		81	
82	arcilla	82		82	
83		83		83	
84	arena gruesa	84		84	
85		85		85	
86		86		86	
87		87		87	
88		88	arena arcillosa	88	arena arcillosa
89		89		89	
90		90		90	
91		91		91	
92		92	grava arcillosa	92	
		93	arcilla	93	
		94		94	arena fina
		95		95	
		96		96	
		97		97	
		98		98	
		99		99	
		100		100	
		101		101	
		102		102	
		103		103	
		104	arena media y gravas	104	
		105		105	
		106		106	
		107		107	
		108		108	
		109		109	
		110		110	
		111		111	
		112		112	
		113		113	
		114		114	arena media y gruesa
		115		115	
		116	arcillas arenosas	116	
		117		117	
		118			
		119			

Tabla 2.8

Perfiles litológicos de pozos principales para agua de la ciudad de Santa Cruz (SAGUAPAC) en un radio de 500 m



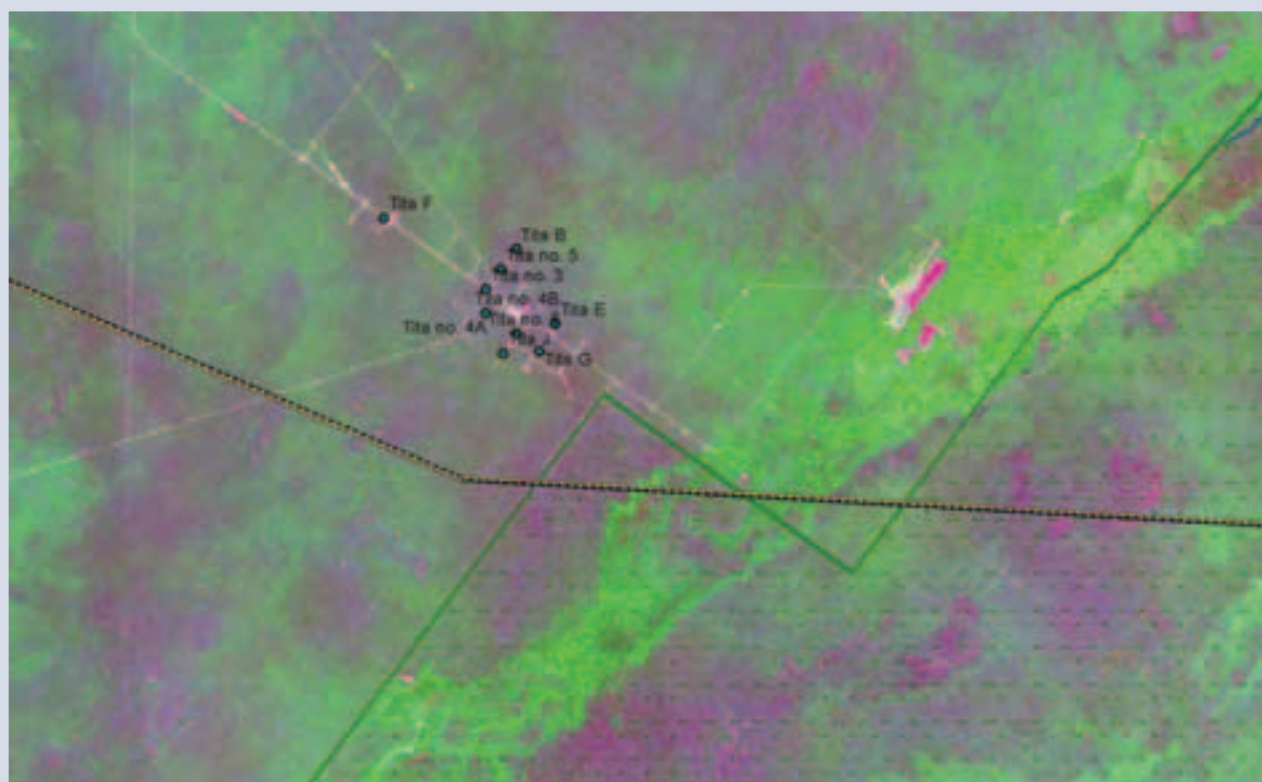
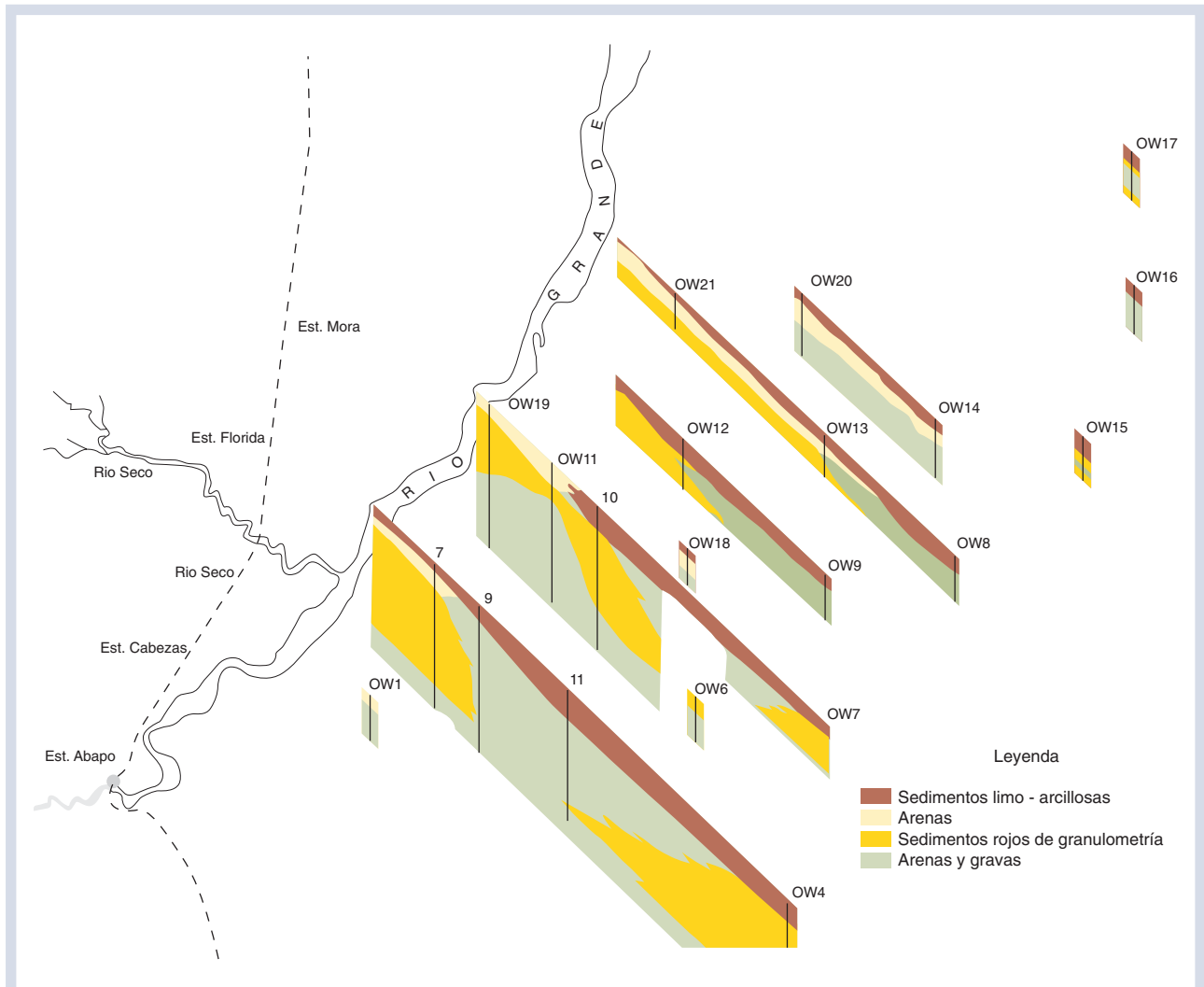


Figura 2.14. Distribución de pozos en la localidad Tita (cerca de los Bañados de Izozog).

Tabla 2.9
Datos de perforación de pozos cercanos al río Parapetí.

Ubicación	Prof. (m)	Diam. (pul.)	Nivel Est. (m)	Nivel Din. (m)	Filtro	Caudal (L/hr)	Calidad
Tamachindi	122	4	12	24	PVC 8m	14000	
Algarrobilla	92	4	26	38	PVC 8m	4000	
Guarirenda	120	4	17	30	PVC 8m	7200	
Tita no. 3	88	4	38		Filtro "Roscoe Moss"		salada
Tita no. 4A	56	4	28		Filtro "Roscoe Moss"	7200	salada
Tita no. 4B	35	4			Filtro "Roscoe Moss"	4500	buena
Tita no. 5	34	4	20		Filtro "Roscoe Moss"	5200	salada
Tita no. 6	40	4	17		Filtro "Roscoe Moss"	5000	buena
Tita B	39	4	16		Filtro "Roscoe Moss"	7200	salada
Tita E	44	4	16		Filtro "Roscoe Moss"	7200	buena
Tita F	31	4	19		Filtro "Roscoe Moss"	2400	salada
Tita G	45	4	16		Filtro "Roscoe Moss"	9000	salada
Tita J	50	4	19		Filtro "Roscoe Moss"	7200	



En la región que está entre Abapó a los bañados de Izozog (Figura 2.15.) fueron observadas las siguientes condiciones:

- Sedimentos gruesos cubiertos de aproximadamente 100 a 150 m de sedimentos finos de color rojizos. (Los sedimentos rojizos no fueron encontrados de Abapó hasta Pozo del Tigre, en el noreste).
- Sedimentos de granulometría fina de color café o gris, que cubren aproximadamente 15 a 20 m de la planicie del Chaco.

Conforme Lutz Werding (1977) esto tiene una implicación importante, ya que tiende a demostrar que el Río Grande fluía en dirección este y luego noreste antes de cambiar su rumbo actual hacia el norte. En el cauce antiguo del Río Grande (en dirección noreste hacia los bañados y la Laguna Concepción) es probable que la trans-

misividad de agua sea superior, ya que hay sedimentos gruesos que permiten una infiltración de agua más rápida. También se halla una área de baja salinidad, lo que ha sido confirmado por el estudio de calidad de agua que fue hecho para esta región.

2.4. CONSIDERACIONES SOBRE LOS DEPÓSITOS DE AGUA SUBTERRÁNEA

De acuerdo a lo descrito en la sección 2.3. se puede determinar que el área de estudio se encuentra situada dentro de la cuenca hidrogeológica de la región de Santa Cruz, delimitada al este por la serranía de Chiquitos, hacia el sur por los cerros aislados del Alto de Paraguá, y hacia el oeste por la faja sub-andina. En el límite inferior de la cuenca se encuentra la formación Yecua que es de granulometría muy fina (impermeable). La profundidad de esta formación en el área

de estudio es variable, con un mínimo de 500 m hacia el norte de la localidad de Montero. En cambio, hacia el sur de la ciudad de Santa Cruz es más profunda, variando de los 1.200 m en el sector oeste, a los 600 m en el este, tal como se puede apreciar en la Figura 2.10. y en la Figura 2.11. La secuencia litológica del subsuelo es una intercalación de capas de arenas, gravas de espesor variable, desde 1 m a 30 m aproximadamente, y capas arcillosas y de arena arcillosa también de variable espesor (de 1 a 20 m). Esta característica es notoria, principalmente en los depósitos cuaternarios que ocupan la parte superior, y en la formación Chaco Superior, que se encuentra por debajo de los depósitos cuaternarios. La formación Chaco Superior descansa sobre la Chaco Inferior que es de granulometría fina (predominan las arcillas); finalmente, esta última descansa sobre la formación Yecua, que es considerada un lecho impermeable.

Acuíferos libres, confinados y semi-confinados

De acuerdo a lo mencionado en los puntos 2.1. y 2.3. se puede determinar que la cuenca hidrogeológica de la región de Santa Cruz está conformada por tres tipos de acuíferos: libres, confinados y semi-confinados. Utilizando la información disponible de los pozos (litología, fisiografía, etc.), podemos definir la llanura cruceña como una región aluvial multi-acuífera.

No es posible hacer una zonificación de la región según el tipo de acuífero. Esto se debe a la falta de uniformidad en la descripción de los perfiles litológicos de los pozos. Sin embargo, en términos generales, se puede demostrar la predominancia de cierto tipo de acuíferos en algunas zonas.

Observaciones directas de los pozos de 4 y 6 pulgadas de diámetro y profundidades de 80 y 120 m ubicados en la Zona Norte a partir de las coordenadas UTM x=8.050.000, han detectado que son pozos de agua surgente, lo que deja establecido que los acuíferos de la zona están confinados. Esta característica es compatible con el hecho de que los estudios de suelos en la parte norte muestran gran contenido de arcillas (material altamente impermeable que contribuye a la creación de acuíferos confinados). Hacia el sur de dicha coordenada, los pozos no son surgentes, pero sí hay un cierto ascenso del nivel de agua subterránea, lo que demuestra que los acuíferos en este sector son semi-confinados y posiblemente algunos confinados tam-

bién, allí donde las profundidades de los pozos varían entre los 60 y los 350. Los acuíferos libres ocupan la parte superior de las primeras capas arenosas que cubren gran parte del área de estudio.

Fluctuaciones del nivel de agua subterránea

El único lugar del que se tiene registro sobre las fluctuaciones del nivel de agua subterránea es el sur del Río Grande. Este registro fue llevado a cabo por el proyecto Abapó-Izozog, por encargo de la FAO. En toda el área de este proyecto se instaló piezómetros automáticos de registro diario, con finalidad de conocer el grado de variación del nivel del agua subterránea en una zona que no estaba siendo sometida a descarga por bombeo, así como los factores causantes de dichas fluctuaciones. El estudio concluye que las fluctuaciones se deben al consumo de la vegetación natural y a la recarga de los acuíferos por el Río Grande y el Parapetí. Las fluctuaciones se dan en un rango de 5 a 25 mm por día.

Dirección del agua subterránea

La cuenca hidrogeológica de la región de Santa Cruz fue estudiada por distintas instituciones. Por ejemplo, CORDECruz hizo un reconocimiento de la Zona Norte, a partir de las coordenadas UTM x=8.040.000. El territorio hacia el sur de esta línea fue estudiado por el Proyecto Abapó-Izozog, en el nivel de prefactibilidad. La zona urbana de Santa Cruz por la firma GITE y British Geological Society, por encargo del Banco Mundial para SAGUAPAC. Todos estos estudios muestran que la dirección del flujo del agua subterránea es del sur oeste hasta el noroeste, siguiendo la pendiente natural del terreno.

Profundidad del nivel del agua subterránea

La profundidad del nivel del agua subterránea es un dato muy importante en la planificación de la construcción de pozos, del sistema de bombeo, del costo de bombeo, etc. (éste último influye directamente en los costos del riego agrícola). En términos generales, en la Figura 2.16 se muestra la profundidad del nivel estático del agua subterránea de la región de estudio; la superficie del mismo en la Figura 2.17. La superficie del nivel estático es simplemente la diferencia entre la elevación superficial del terreno y el nivel estático del pozo.

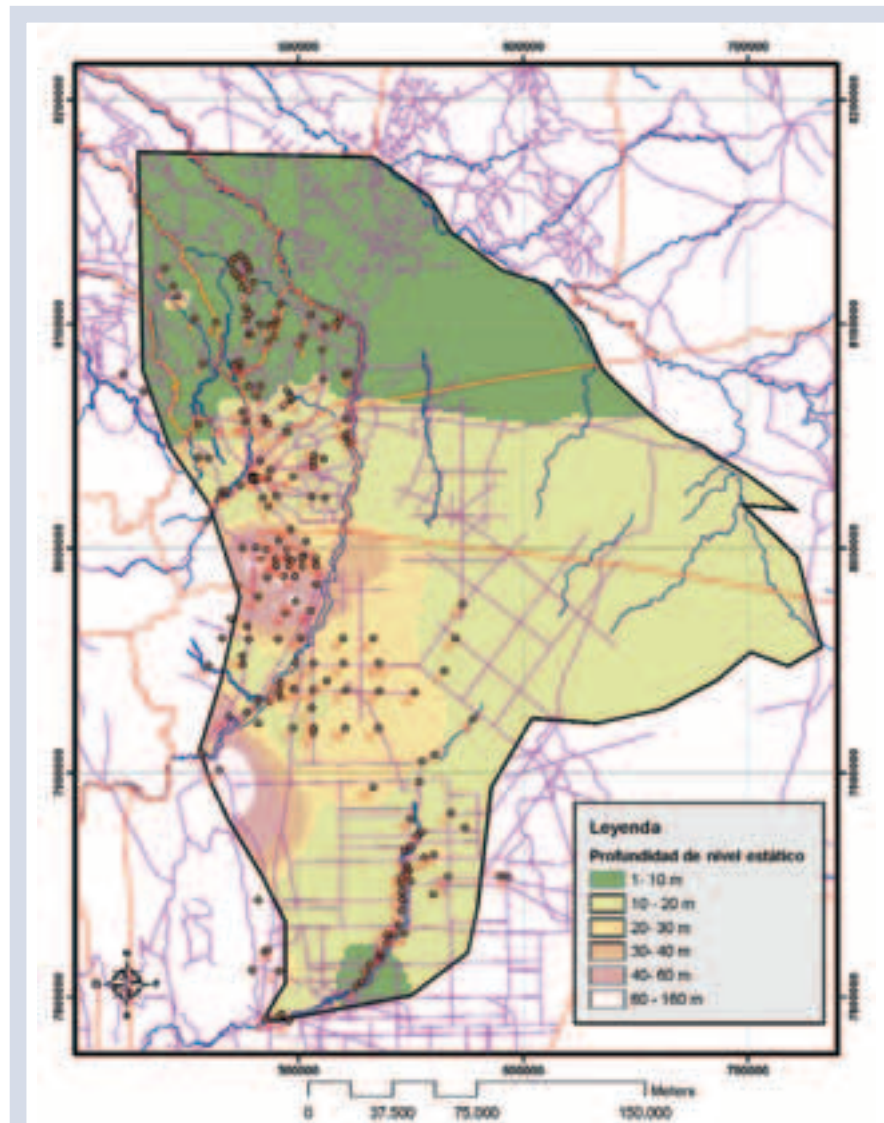


Figura 2.16. Profundidad del nivel estático calculado computacionalmente utilizando información de pozos.

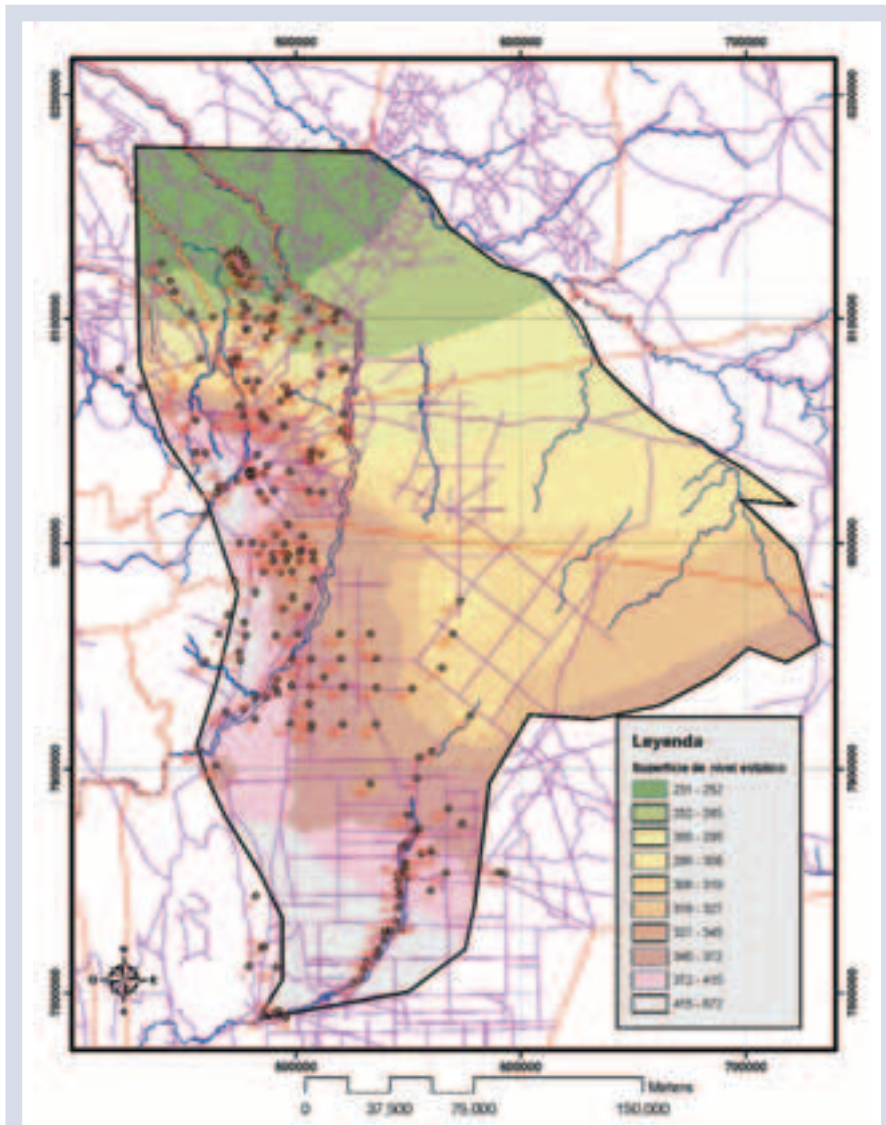


Figura 2.17. Superficie de nivel estático calculado utilizando DEM y datos de pozos.

2.5. PERFORACIÓN DE POZOS Y COSTOS

El aspecto más importante para el manejo adecuado de los recursos subterráneos es la perforación de pozos. La siguiente lista muestra la secuencia de las etapas de construcción de un pozo de agua para abastecimiento humano o riego agrícola, de acuerdo a las normas técnicas de las perforaciones.

1. Movilización de los equipos y materiales al lugar donde se pretende perforar.
2. Provisión e instalación de tubo conductor
3. Perforación del “pozo piloto” (se hace una perforación para obtener muestras e identificar posibles acuíferos mediante muestras obtenidas –Figura 2.18.–, y también para determinar las calidades del agua).
4. Perfilaje eléctrico (con este sistema se determina la existencia de posibles acuíferos y las profundidades a las que se deben instalar los filtros para un diseño ideal del pozo –Figura 2.18.–).

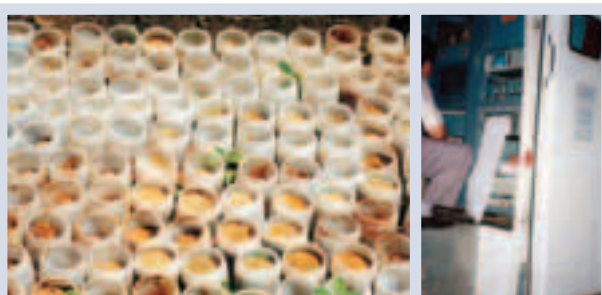


Figura 2.18. Diseño de pozo mediante muestreo de sedimentos y perfilaje eléctrico.

5. Ensanche del pozo piloto, para poder instalar una tubería de la medida deseada.
6. Instalación de la tubería (una vez ensanchado el pozo se instala la tubería –ver Figura 2.19.–).



Figura 2.19. Instalación de tubería.

7. Instalación de filtros (los filtros son instalados a las profundidades ideales para captar el agua de los acuíferos).
8. Instalación del tubo decantador.
9. Instalación de reductores (por ejemplo de 8 5/8 a 6 5/8 pulgadas).
10. Instalación de centralizadores.
11. Instalación de tubería de engarzado.
12. Instalación de grava seleccionada (ver Figura 2.20.).



Figura 2.20. Instalación de grava en pozos.

13. Lavado preliminar del pozo con agua a presión.
14. Desarrollo del pozo por pistoneo.
15. Colocación de pirofato de sodio para la limpieza del pozo.
16. Instalación de una bomba turbina para el desarrollo del pozo.
17. Desarrollo del pozo por bombeo y aforo (ver Figura 2.21.).



Figura 2.21. Desarrollo de pozo.

18. Desinfección del pozo.
19. Sello sanitario y cementación.
20. Informe con conclusiones y recomendaciones.

En Santa Cruz existen varias empresas dedicadas a la perforación de pozos de agua. Cuando se escoja una empresa para realizar la exploración de un pozo de agua, es importante que se exija que todas las normas técnicas sean seguidas, para evitar la contaminación de las aguas subterráneas.

Los costos de exploración de los pozos son variables. En la Tabla 2.11. presentamos los costos promedio para la explotación de pozos en la región de Santa Cruz. En general, 50 por ciento del costo de perforación es atri-

buable a la tubería instalada. Las tuberías de acero al carbono son preferidas mundialmente por su alta calidad y larga vida, y son ideales para pozos de alto volumen. Las tuberías de PVC pueden ser utilizadas en pozos de hasta seis pulgadas, pero no son recomendadas para envergaduras mayores. En la Tabla 2.12. presentamos un ejemplo de los costos para la exploración de un pozo de 143 metros, utilizando tubería de alta calidad (Roscoe Moss) de 8 pulgadas. Hay que tomar en cuenta que los precios pueden variar significativamente.

Tabla 2.11
Costos promedios para exploración de pozos

Diámetro de tubería (pulgadas)	Precio total por metro para exploración del pozo	
	Acero al carbono (Roscoe Moss)	PVC
12	\$230.00	---
10	\$190.00	---
8	\$160.00	---
6	\$120.00	\$60.00
4	\$60.00	\$40.00

Tabla 2.12
Ejemplo de estructura de costos para un pozo de 143 metros de profundidad utilizando tubería de acero Roscoe Moss de 8 pulgadas

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unidad (\$us)	P. Total (\$us)
1	Movilización	global	1	929.03	929.03
2	Prov. e inst. tubo conductor	m	4	46.45	185.81
3	Perforación pozo piloto	m	156	18.58	2,898.58
4	Perfilaje eléctrico	global	1	836.13	836.13
5	Ensanche de pozo piloto	m	156	18.58	2,898.58
6	Prov. e inst. tubería 8 5/8	m	71	62.66	4,449.09
7	Prov. e inst. tubería 6 5/8	m	44	49.70	2,186.94
8	Prov. e inst. filtros	m	33	111.39	3,675.90
9	Prov. e inst. tubo decantador	m	5.5	46.92	258.04
10	Prov. e inst. reducción 8 5/8 a 6 5/8	m	0.5	201.54	100.77
11	Prov. e inst. centralizadores	pieza	7	46.45	325.16
12	Prov. e inst. tubería de engarado 2"	m	0	0.00	0.00
13	Prov. e inst. de grava seleccionada	m ³	16	49.35	789.67
14	Lavado preliminar de pozo con agua a presión	hrs	4	27.87	111.48
15	Desarrollo del pozo por pistoneo	hrs	20	27.87	557.42
16	Prov. e coloc. pirofato de sodio – limpieza*	lbs	100	3.72	371.61
17	Prov., inst. y rem. de bomba turbina - desarrollo	global	1	371.61	371.61
18	Desarrollo del pozo por bombeo y aforo	hrs	24	37.16	891.87
19	Desinfección del pozo	global	1	46.45	46.45
20	Sello sanitario y cementación	m ³	2	185.81	371.61
21	Base de hormigón 1:2:3	global	0.25	19.35	4.84
22	Informe con conclusiones y recomendaciones	global	1	0.00	0.00
23	Tapa superior e inferior para entubado	pieza	1	91.61	91.61
	Total				22,352.20

* es opcional

(3)

HIDROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA

El conocimiento de los factores hidrológicos y climatológicos de la región es importante para poder estimar la recarga de agua subterránea, para determinar el potencial agrícola y las necesidades de riego. Esta información también sirve para el estudio de los humedales y su sostenibilidad. En esta sección hacemos un resumen de la información disponible y también presentamos cálculos preliminares de la evapotranspiración y la recarga de los acuíferos de la región.

3.1. FACTORES HIDROLÓGICOS

En el área de estudio se encuentra la cuenca baja (relieve llano) de los ríos Grande, Parapetí y Piraí, los cuales son afluentes del río Amazonas. El río Parapetí está situado en el extremo sur, el Río Grande ocupa la parte central y el Piraí la parte norte de la región de estudio. Estos ríos son de extrema importancia para los acuíferos de la llanura cruceña porque aportan agua al sistema subterráneo mediante infiltración o percolación profunda.

El río Parapetí, en su cuenca baja, no recibe ningún tipo de afluentes por su flanco occidental sur. Los cursos de agua de régimen efímero como las quebradas de Saipuru, Taputa, San Lorenzo, Charagua, Ipitacoape, La Tabla, Itatique y de Cuevo, cuyas nacientes se encuentran en las estribaciones de la cordillera de los Andes y en época lluviosa ingresan a la llanura con un rumbo este (aproximadamente), pierden sus aguas por infiltración, llegando al final de su recorrido, después de entre 10 y 30 km, como pequeños abanicos aluviales. En la parte norte del mismo flanco se presenta un fenómeno algo parecido, con la única diferencia de que los cursos nacen en la misma cuenca plana y siguen una dirección noreste; son de forma muy irregular porque la pendiente de los barrancos es poco apreciable. Durante las fuertes tormentas se desbordan, llegando a inundar gran parte del monte; estas aguas se pierden por infiltración y evapo-

ración. Algunos ejemplos de estos cursos de agua de régimen efímero son las quebradas Cañada las Carreras, Salitral de las Antas, Las Caveras, Del Ensabado, Pasaemo, Las Cattreras Paraíso, Arroyo Hondo y Palo Cortado. Por su flanco oriental, el río Parapetí no recibe ningún tipo de afluente de importancia.

El Río Grande es uno de los más importantes del área en cuanto a volumen y extensión. Por su flanco oriental, sus afluentes presentan el mismo cuadro que los del río Parapetí, mientras que por el lado occidental algunos son corrientes efímeras que nacen de la faja subandina, como es el caso del Río Seco, que se encuentra ubicado en la parte sur y descarga sus aguas en forma de un abanico, depositando toda la carga que trae por suspensión y arrastre. Otros ejemplos son la quebrada Cotoca, que descarga sus aguas a la altura del puente de Puerto Pailas, y finalmente el río Chane, por el sector norte.

El río Piraí bordea el sector occidental de la cuenca baja, siguiendo una dirección norte. Por este lado tiene como afluentes a los ríos La Madre, Sama, Seco, San Jorge, Ambaibal y el Guenda. Estos afluentes nacen en el pie de monte de la faja subandina y son de régimen permanente.

3.1.1. CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RÍO GRANDE

La cuenca del Río Grande tiene una red de drenaje muy amplia, del orden de los 60.000 km², y está formado por dos tipos de relieve, uno montañoso y el otro llano. El primero ocupa la parte externa del borde occidental de nuestra área de estudio, es decir, no forma parte de este trabajo; sin embargo, tiene una gran influencia en la cuenca baja de la que nos ocupamos por el sistema de escurrimiento superficial, por el comportamiento de las avenidas o crecidas, por la cantidad y tipo de sedimento que las corrientes transportan por suspensión y arrastre desde la cuenca alta, para luego depositarlo a lo largo y

ancho de la cuenca baja. El relieve montañoso además tiene influencia en la calidad del agua. Y todo ello depende de sus características topográficas, geológicas y climatológicas y de la cobertura vegetal que presenta la cuenca montañosa.

En la cuenca baja es interesante observar, en el campo y por medio de imágenes satelitales, el cambio de la vegetación: monte alto húmedo a partir de la coordenada 18° S de latitud al norte, y monte bajo y seco hacia el sur. Esta coordenada también marca un notorio cambio de las precipitaciones y la temperatura, como se puede observar en los mapas de las Figuras 3.2. y 3.4., lo que implica que hay una relación directa entre la vegetación y la precipitación.

La gradiente del río en la cuenca baja, medida entre la estación de Abapó y Puerto Pailas, es de 0.08%; las cotas de ambas estaciones son de 430 y 260 msnm, respectivamente, y entre ellas hay una distancia de 210 km. El gradiente del cauce del río en este tramo favorece la infiltración del agua en un 25 a 30%, según los datos de descarga del río tomados en ambas estaciones.

Parámetros climatológicos registrados en la cuenca baja del Río Grande: La precipitación anual media en toda el área de estudio se puede apreciar mejor en el mapa de la Figura 3.2. Para la región del Río Grande, en el sector sur la isoyeta de lluvia es de 600 mm, la cual va en aumento

hasta llegar a 1.100 mm, hacia el norte de la ciudad de Santa Cruz. En el mapa de la Figura 3.4. se muestra la temperatura media anual del área estudio por medio de isotermas; en él se observa un aumento de la temperatura desde los 24° C que se registra en el norte del Río Grande hasta los 28° C que se registra hacia el sur.

Caudal y sedimento transportado por el Río Grande: Pocas instituciones y empresas realizaron medidas del caudal del Río Grande; los datos que están disponibles son de periodos cortos de monitoreo continuo. En el lapso 1964-65, la empresa Ingeniería Global realizó mediciones del caudal del río; posteriormente, en el periodo 1972-1974, la firma Agrar und Hydrothenik, por encargo de FAO, llevó a cabo mediciones de caudales y muestreo de sedimentos en las estaciones de Abapó y Puerto Pailas, que están ubicadas en las localidades del mismo nombre. En Puerto Camacho las mediciones fueron realizadas por el Ministerio de Agricultura, de 1945 a 1950. Datos de ENDE indican la realización de mediciones entre 1964 y 1971, en el Puente Nuevo de Puerto Pailas. Un resumen de los datos del Ministerio de Agricultura y ENDE se presenta en la Tabla 3.1.

a) La estación de Abapó

Fue instalada justamente en la línea de cambio de relieve, del montañoso al llano. La estructura del puente

Tabla 3.1. Resumen de información hidrológica de la cuenca del Río Grande entre 1945-1971

Año	Volúmen (Hm ³)	Flujo (m ³ /s)		
		mínimo	máximo	promedio
1945-46	4.986	18	1.540	161
1946-47	9.434	16	2.552	307
1947-48	8.238	26	4.100	264
1948-49	11.270	23	3.390	262
1949-50	13.639	20	11.370	441
1964	2.785	13	1.908	88
1965	4.391	23	2.108	140
1967-68	6.762	9	4.663	219
1968-69	3.426	10	1.050	110
1969-70	3.242	8	1.149	104
1970-71	3.014	11	3.063	189
Medias	6.472	8 (min.)	11.370 (max)	208

Fuente de 1945 a 1950 – Ministerio de Agricultura (Puerto Camacho)
Fuente de 1964 a 1971 – ENDE (Puente Nuevo – Puerto Pailas)

de Abapó es utilizada en los trabajos de aforo de la corriente y para la toma de muestras de sedimento. En esta estación se llevó un registro de descarga en los años 1963 (octubre) a 1965 (enero) y 1971 (septiembre) a 1974 (marzo).

Descarga del Río Grande en la estación de Abapó: El caudal medio anual medido en la estación de Abapó es de 249,67 m³/s ó 7.874 millones de m³/año, para el año hidrológico 1972 a 1973, lo que corresponde a 3,75 l/s/km². En la Tabla 3.2. se dan los valores mensuales.

La magnitud de las avenidas o crecidas del Río Grande registradas en la estación Abapó es muy variable. El río aumenta su caudal rápidamente y lo disminuye en forma paulatina, pero en corto tiempo, hasta llegar a su nivel normal. Con los caudales máximos, la corriente alcanza velocidades de hasta 4 m/s, en cambio en la cuenca baja son de 3 m/s. El caudal máximo anual observado es de 11.370 m³/s, lo que sería un acontecimiento centenario, si se toma que el promedio de los picos mayores de los registros de caudal es de 4000 m³/s. En la Tabla 3.1. también se da las descargas máximas mensuales.

Transporte de sedimentos: Las aguas del Río Grande traen una gran cantidad de sólidos por suspensión y arrastre de fondo, desde la cuenca montañosa a la llana. El valor promedio registrado en la estación de Abapó durante el año hidrológico 1972-1973 fue de 10,1 g/l para un caudal medio de 249,67 m³/s. El valor medio medido en el periodo húmedo fue de 18,7g/l, para una descarga de 351 m³/s; la media para el periodo seco fue de 1,5 g/l, con un caudal de 102 m³/s. El valor más alto registrado fue de 88 g/l para un caudal de 2.380 m³/s, que se midió el 16 de enero de 1974.

b) La estación de Puerto Pailas

Las mediciones de aforos y el muestreo de sedimentos se realizaron desde la estructura del puente de Puerto Pailas, por la firma Agrar und Hidrotechnik, en los años 1971-74. El puente de Puerto Pailas se encuentra a 210 km, aguas abajo, de la estación de Abapó.

Descarga del Río Grande en la estación de Puerto Pailas: Los registros de descarga en este punto se iniciaron en 1972 (julio) y terminaron en 1974 (marzo), y pueden encontrarse en la Tabla 3.3.

Tabla 3.2.
Descarga media mensual en m³/s de la cuenca del Río Grande medida en la estación Abapó de 1971 a 1974

Año	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media Anual
1971												30,70	30,70
1972	63,40	135,00	418,00	518,00	718,00	606,00	257,00	75,70	63,50	39,80	57,30	44,30	249,67
1973	33,30	97,70	424,00	660,00	423,00	470,00	199,00	135,00	141,00	57,60	50,40	29,20	226,68
1974	55,00	188,00	335,00	1391,00	2.105,00	1.090,00							860,67
MED	51,28	130,43	376,75	710,20	895,20	750,00	233,00	166,90	95,33	50,30	50,63	36,50	291,38
MAX	63,40	188,00	424,00	1.391,00	2.105,00	1090,00	257,00	1.470,00	141,00	57,60	57,30	44,30	496,55
MIN	33,30	97,70	330,00	155,00	423,00	470,00	199,00	75,70	63,50	39,80	44,20	23,20	163,37

Media época húmeda (octubre a marzo) = 540.67 m³/s
Media época seca (abril a septiembre) = 95.82 m³/s

Tabla 3.3.
Descarga media mensual en m³/s de la cuenca del Río Grande medida en la estación Puerto Pailas de 1972 a 1974

Año	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media Anual
1972										28,60	30,20	27,20	28,67
1973	14,00	72,90	283,00	504,00	312,00	350,00	161,00	127,00	106,00	43,40	37,50	17,40	169,02
1974	57,70	155,00	221,00	1.408,00	2517,00	1485,00							990,62
MED	35,85	113,95	252,00	956,00	1.464,50	917,50	161,00	127,00	106,00	36,00	33,85	22,30	352,16
MAX	57,70	155,00	283,00	1.408,00	2.617,00	1.485,00	161,00	127,00	106,00	43,40	37,50	27,20	542,32
MIN	14,00	72,90	221,00	504,00	312,00	350,00	161,00	127,00	106,00	28,60	30,20	17,40	162,01

3.1.2. CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RÍO PARAPETÍ

La cuenca del río Parapetí tiene un área de 10.580 km². Sus características hidrológicas son muy similares a las del Río Grande, con la gran diferencia de que en la época de estiaje el río Parapetí pierde gran parte de su caudal por infiltración de sus aguas en el lecho arenoso del río, a unos 15 ó 20 km río abajo, en la cuenca baja. En la época de lluvias la corriente llega hasta la localidad de Guarirenda, latitud 19° S. A partir de este lugar el río no tiene un curso definido: sus aguas se esparcen en forma de un delta, dando lugar a la formación de los bañados de Izozog, que tienen un área de 300 km², aproximadamente, y ocupan la parte central de la cuenca del río Parapetí. Durante las grandes crecidas del río, sus aguas avanzan lentamente hacia el norte, llegando a abandonar la cuenca e incluso a cruzar la serranía de Chiquitos, para descargar sus aguas en la Laguna Concepción.

Los bañados de Izozog o pantanales son causados por la baja pendiente del lecho del río. A partir de la latitud 19° S las aguas llegan a bifurcarse en forma de un delta. Gran parte de estas aguas se infiltran al subsuelo y otra parte se evapora. Hasta el cruce con la serranía de Chiquitos, al norte, no se observa un curso bien definido del río, sino que se forman lagunas profundas, las cuales se encuentran entrecortadas y con agua durante todo el año. La conexión entre ellas se da a través de ligeras depresiones que en la época de lluvias permanecen llenas de agua, lo que da lugar a la formación de pantanos. En este paisaje la vegetación está muy desarrollada, los árboles alcanzan alturas de entre 30 y 40 m y también es notoria la abundancia y variedad de fauna silvestre. Estas características se deben a las grandes cantidades de agua almacenada en las lagunas y en las depresiones, que se renueva en la estación de lluvias.

Se trata de una unidad ecológica de gran importancia para la región, gracias a su disponibilidad de agua, que la convierte en un oasis para el desarrollo de la fauna y la flora. El equilibrio hidrológico de la región es muy importante para ella. Cualquier desequilibrio en la cuenca alta le ocasionaría grandes consecuencias negativas.

Datos climatológicos registrados en la cuenca del río Parapetí: La precipitación media anual en la zona norte de la cuenca baja del río Parapetí es de 600 mm, y disminuye hacia el sureste, hasta los 500 mm. En el mapa de la Figura 3.2. se muestra los valores de precipitación media y en la Figura 3.3. la variación de la precipitación en cuatro épocas del año. La amplitud de la temperatura media en la cuenca del río Parapetí va desde los 25,5° C en el noreste hasta los 26° C en el sureste. En el mapa de la Figura 3.4 se muestra las isotermas con los valores de la temperatura media anual registrada en la cuenca baja del río.

Caudal y sedimento registrado en el río Parapetí: En la cuenca baja del río Parapetí, así como en los bañados de Izozog, no hay estaciones permanentes de aforo. En los años 1972 y 1973 la firma Agrar und Hydrotechnik GMBH-Essen, por encargo de la FAO, realizó mediciones de caudal y muestreo de sedimento en la estación de San Antonio. Los valores de descarga se presentan en la Tabla 3.4.

Transporte de sedimentos: Durante las crecidas del río fueron tomadas muestras de sedimentos en suspensión en la estación de San Antonio. Los valores registrados para el año hidrológico 1972 fueron de 1,71 millones de toneladas y para 1973 de 6.61 millones de toneladas. La cantidad de material en suspensión en el río Parapetí medida en la estación de San Antonio es menor a la registrada en Abapó para el Río Grande.

Tabla 3.4.

Descarga media mensual en m³/s de la cuenca del río Parapetí medida en la estación San Antonio de 1972 a 1974

Año	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Anual
1972		16,20	51,00	69,20	61,00	44,90	34,90	14,20	15,00	7,23	6,81	5,38	29,62
1973	3,36	10,10	42,30	95,10	62,20	184,00	41,6	38,20	45,50	14,30	9,60	7,08	46,11
1974	6,17	17,00	96,40	109,00	366,00	256,00							
MED	4,77	14,43	63,23	91,10	153,07	161,63	38,25	26,20	30,25	10,77	8,21	6,23	51,51
MAX	6,17	17,00	96,40	109,00	366,00	256,00	41,60	38,20	45,50	14,30	9,60	7,08	83,90
MIN	3,36	10,10	42,30	69,20	61,00	44,90	34,90	14,20	15,00	7,23	6,81	5,38	26,20

Media época húmeda (octubre a marzo) = 83.04 m³/s
 Media época seca (abril a septiembre) = 19.98 m³/s

Tabla 3.5.
Resumen de información hidrológica de la cuenca del río Piraí entre 1945 y 1966

Año	Volumen (Hm ³)	Flujo (m ³ /s)		
		mínimo	máximo	promedio
1945 - 46	183	0,71	351	5,80
1946 - 47	170	1,08	104	5,41
1947 - 48	224	0,95	150	7,16
1948 - 49	225	0,99	141	7,19
1949 - 50	144	0,64	83	4,57
1950 - 51	111	0,82	70	3,54
1951 - 52	162	0,77	119	5,17
1952 - 53	207	0,75	210	6,60
1953 - 54	144	0,75	145	4,57
1954 - 55	260	1,38	160	6,30
1955 - 56	245	1,18	99	7,84
1956 - 57	159	1,12	140	5,23
1957 - 58	143	1,33	45	4,53
1958 - 59	216	1,21	147	6,84
1959 - 60	118	1,30	44	3,75
1960 - 61	168	1,05	241	3,59
1961 - 62	147	1,21	104	3,11
1962 - 63	158	0,92	268	2,52
1963 - 64	128	0,98	156	3,29
1964 - 65	84	0,11	6	2,66
1965 - 66	166	0,92	177	5,33

3.1.3. CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RÍO PIRAÍ

En tiempos recientes, el río Piraí ha sido estudiado intensivamente por el Servicio de Encauzamiento de las Aguas del Río Piraí (Searpi). En la Tabla 3.5. presentamos un resumen de los datos hidrológicos de la cuenca del río Piraí logrados entre 1945 y 1966; sin embargo, datos más recientes pueden ser obtenidos directamente del Searpi.

El río Piraí y sus tributarios ayudan a recargar los acuíferos que son utilizados para el abastecimiento de la ciudad de Santa Cruz.

3.2. FACTORES CLIMATOLÓGICOS

Para este estudio fueron utilizadas informaciones del compendio meteorológico del departamento de Santa Cruz (SENAMHI, 1992) e informaciones sobre Bolivia compiladas por el WMO (World Meteorological Organization) con datos de estaciones de fuera del departamento. Se realizó una revisión de estos datos para utilizar únicamente los que se hallan verificados y completos. En la Figura 3.1. mostramos la ubicación de las estacio-

nes utilizadas en este estudio, así como las que se encuentran fuera.

Aunque en el CD anexo proveemos planillas en Excel con gran cantidad de datos climatológicos mensuales del departamento de Santa Cruz (precipitación, temperatura, vientos, humedad relativa –mínima, media, máxima y desviación estándar (STD, por sus siglas en inglés), el lector podrá encontrar una mayor información en las siguientes fuentes:

- Información meteorológica de Bolivia en SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología) www.senamhi.gov.bo o AASANA (Administración de Aeropuertos y Servicios Auxiliares de la Navegación Aérea) www.aasana.bo. En ellas se puede obtener información para las estaciones, lo que tiene un costo.
- Otras organizaciones enfocadas en determinados sitios (por ejemplo: Conservación Internacional/CABS tiene una red de estaciones meteorológicas para medir parámetros pertinentes a los fuegos forestales y CABI (Capitanía del Alto y Bajo Izozog) – región de TCO Kaa-Iya, etc.

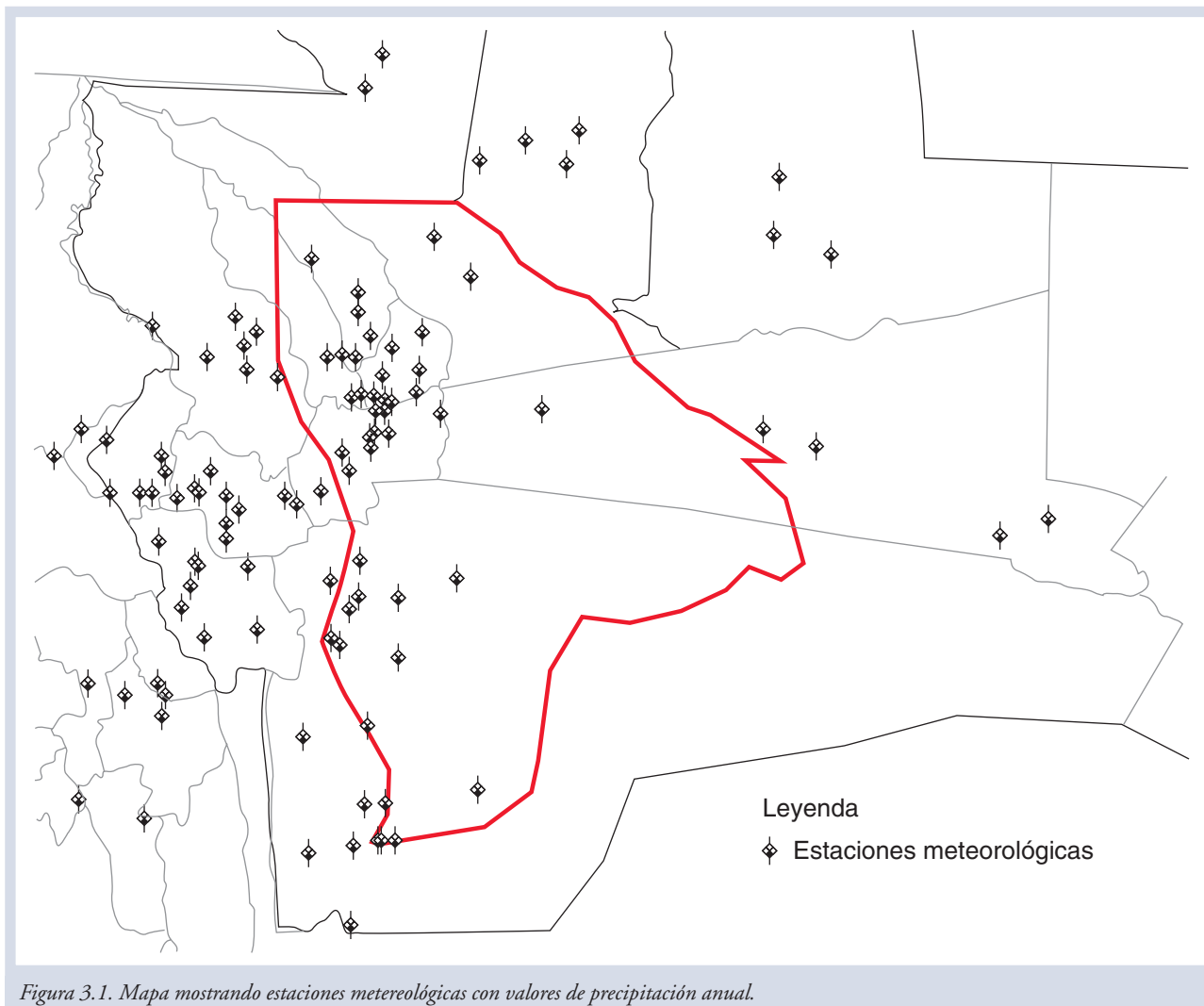


Figura 3.1. Mapa mostrando estaciones meteorológicas con valores de precipitación anual.

3.2.1. PRECIPITACIÓN

Los datos de precipitación obtenidos fueron analizados e interpolados para crear mapas de la región mostrando las variaciones anuales y mensuales de la precipitación. Las interpolaciones fueron hechas utilizando el sistema de Kriging y de IDW (*Inverse Distance Weighted*), y verificadas visualmente para asegurar resultados realistas. La diferencias de densidad de las estaciones meteorológicas en la región hacen necesario un escrutinio mayor para homogenizar los resultados de las interpolaciones. Los resultados de este trabajo en torno a las medias anuales de precipitación en la región son presentados en el mapa de la Figura 3.2. En la Figura 3.3. presentamos mapas con la variación de la precipitación en los meses de enero, abril, julio y octubre.

Los datos de precipitación son importantes para el diseño de sistemas de riego y para determinar la recarga de los acuíferos de la región. Estos datos

ayudan a determinar la posible disponibilidad de agua en la región. En este estudio utilizamos datos mínimos, máximos, medios y STD históricos mensuales de las estaciones disponibles que miden la precipitación. Como ya se mencionó anteriormente, estos datos fueron compilados en un banco de datos en Excel y están disponibles en el CD Anexo.

Un término importante para el riego es la “precipitación efectiva”, que es la precipitación retenida en el suelo para uso de las plantas. El Programa Nacional de Riego, en función a las características agro ecológicas del altiplano, los valles y el chaco, considera las siguientes expresiones para el cálculo de la precipitación efectiva: altiplano: $(pp-12) * 0.70$, valles: $(pp-15) * 0.75$, y chaco: $(pp-20) * 0.80$. Donde: pp = precipitación media mensual en mm.

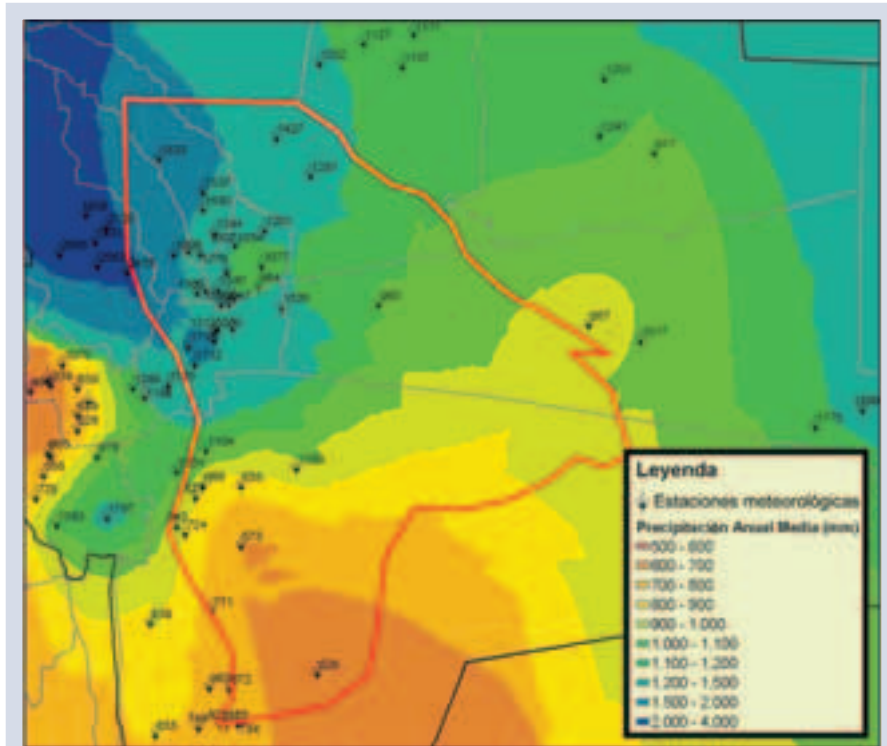


Figura 3.2. Precipitación media anual.

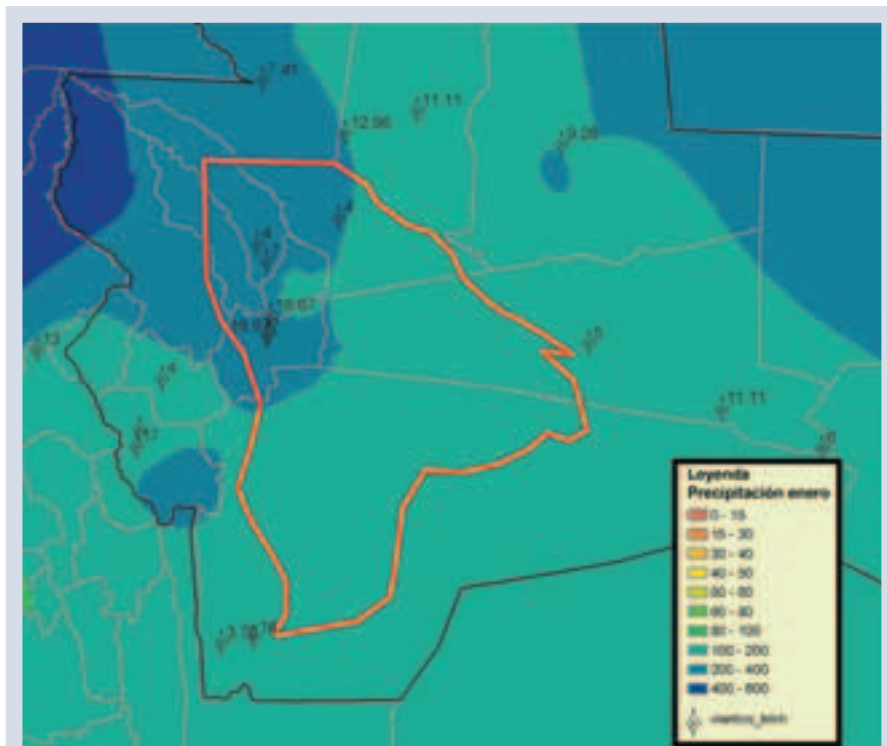


Figura 3.3. (a) Variación de precipitación en el mes de enero y estaciones mostrando medias de velocidad de vientos.

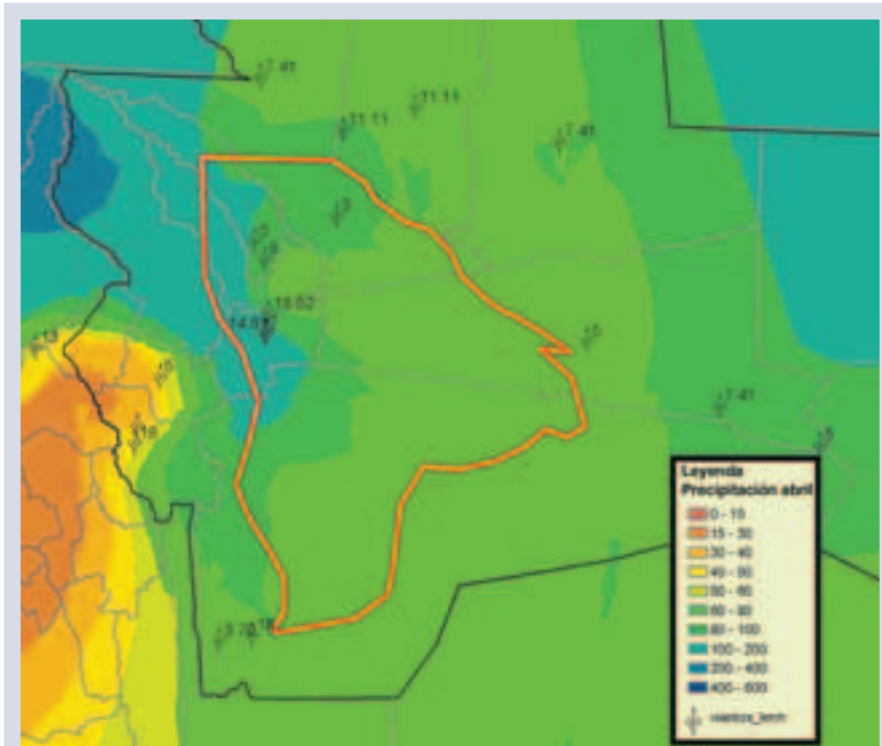


Figura 3.3. (b) Variación de precipitación en el mes de abril y estaciones mostrando medias de velocidad de vientos.

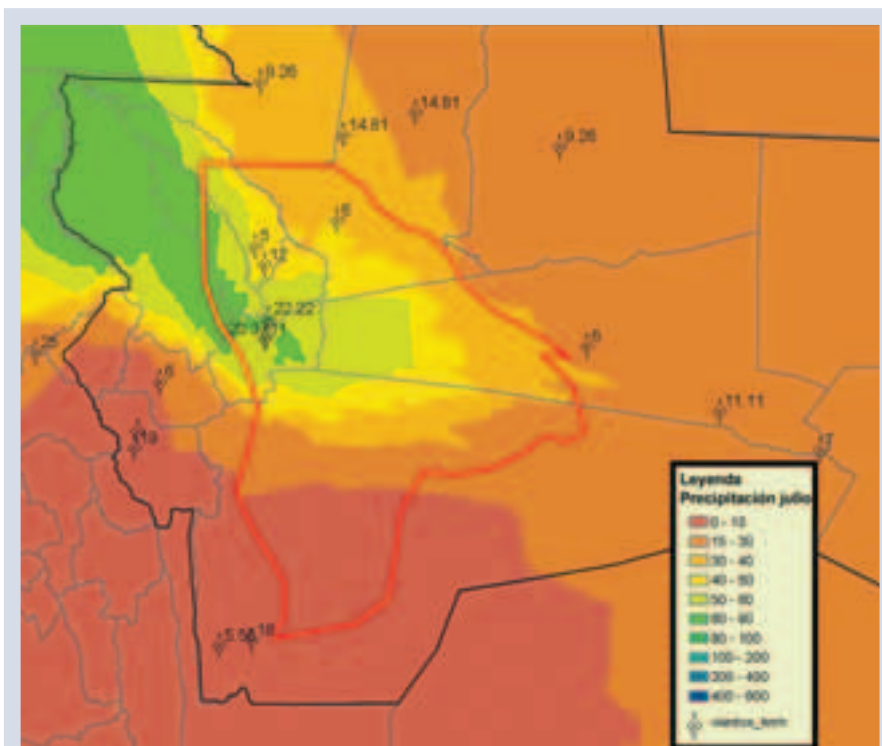


Figura 3.3. (c) Variación de precipitación en el mes de julio y estaciones mostrando medias de velocidad de vientos.

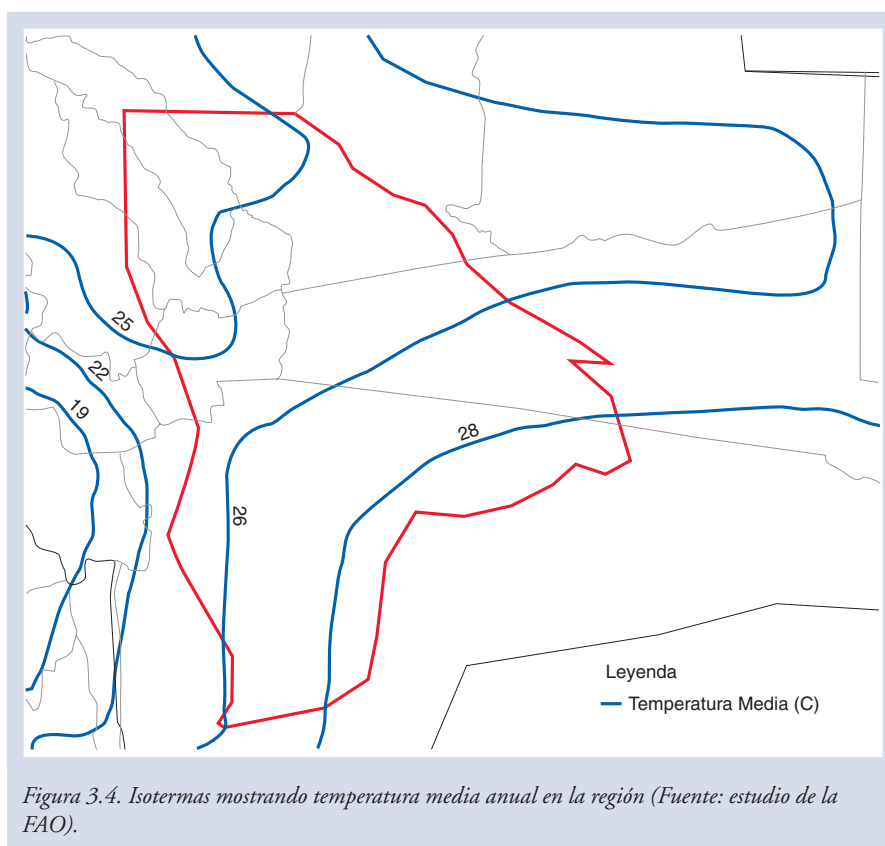


Tabla 3.6.
Valores medios mensuales de humedad relativa del aire (%)

Estación	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	anu	max	min
Ascensión de Guarayos	85	86	86	85	85	83	76	74	71	76	80	84	81	90	69
Camiri	69	70	72	74	73	71	62	54	51	53	57	63	64	75	55
Comarapa	75	74	74	76	74	72	70	70	70	71	72	71	72	88	58
Concepción	79	81	80	78	77	75	68	61	60	66	71	77	73	82	66
Est. Exp. Vallecito	82	80	81	82	82	81	75	70	70	70	75	81	77	83	70
El Trompillo	75	75	75	74	76	76	69	61	60	64	67	71	70	80	60
Mairana	70	72	71	72	71	70	66	62	61	62	65	68	67	75	62
Mínero (UNAGRO)	76	74	74	74	74	73	70	67	68	68	72	76	72	76	65
Puerto Suárez	75	76	76	76	76	76	68	62	61	65	68	72	71	78	65
Roboré	69	71	71	71	72	70	63	57	56	60	64	67	66	75	58
Saavedra (CIMCA)	75	76	73	72	73	71	63	56	56	61	66	73	68	89	50
San Antonio de Parapetí	76	75	77	80	80	76	70	64	64	65	69	75	75	84	66
San Javier	81	82	81	79	80	79	73	69	68	71	75	79	76	92	68
San Ignacio de Velasco	77	78	77	76	75	72	65	58	58	63	69	74	70	78	57
San José de Chiquitos	73	74	73	72	73	71	63	58	57	73	66	70	69	105	60
San Matías	78	79	78	78	69	73	66	55	61	64	71	76	70	77	67
San Juan de Yapacani	80	79	77	75	77	78	73	70	68	71	74	79	75	89	60
San Julián	81	82	82	81	80	78	71	68	69	70	74	80	76	87	70
Universidad A.G.R.M.	76	75	75	75	77	76	70	65	63	65	69	75	72	83	64
Vallegrande	73	75	74	75	74	74	70	66	64	65	67	69	70	86	60
Viru Viru	83	81	83	83	83	79	73	69	67	70	74	82	77	81	72

Tabla 3.7.
Datos de dirección promedia mensual de vientos (N-norte, S-sur, SE-sur este, NO-nor oeste, NE-nor este, E-este)

Estación	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	anual
Ascensión de Guarayos	N	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	NO
Camiri	N	N	N	N	N	SE	S	N	N	S	S	N	S
Candelaria	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Comarapa	NO	NO	N	NO	NO	NO	NO	NO	NO	N	N	N	N
Concepción	NO	NO	NO	S	N	N	N	N	NO	NO	NO	NO	NO
Est. Exp. Vallecito	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
El Trompillo	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Mairana	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Mínero (UNAGRO)	NE	NE	NE	NE	N	NO	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Puerto Suárez	N	N	N	E	E	E	E	E	E	N	N	N	E
Roboré	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Saavedra (CIMCA)	N	N	N	S	S	N	N	N	S	N	N	N	N
San Antonio de Parapetí	NE	NE	NE	NE	NE	SE	S	NE	NE	NE	NE	NE	S
Santa Ana	S	S	S	S	S	N	N	N	N	N	N	S	S
San Javier	NO	N	NO	N	NO	N	N	N	N	NO	NO	NO	N
San Ignacio de Velasco	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N
San José de Chiquitos	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
San Matías	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
San Julián	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Universidad A.G.R.M.	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Vallegrande	SE	SE	SE	SE	NE	SE	N	SE	N	SE	SE	SE	NE
Viru Viru	NO	S	N	N	N	S	S	S	S	NO	NO	N	N

Tabla 3.8.
Valores mensuales medios de velocidad de viento en Km/hora

Estación	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	anual
Ascensión de Guarayos	7	6	6	7	7	7	9	9	9	9	7	7	7
Camiri	4	4	4	4	4	4	6	6	7	7	6	6	6
Candelaria	6	4	4	5	5	6	7	5	7	5	6	6	6
Comarapa	13	12	11	13	21	27	25	24	26	17	15	12	18
Concepción	11	11	11	11	11	13	15	15	15	15	13	11	13
Est. Exp. Vallecito	11	10	10	11	13	15	16	15	14	13	12	12	13
El Trompillo	17	17	15	15	17	20	20	20	20	19	19	17	19
Mairana	4	4	4	5	5	6	6	7	7	6	5	4	5
Mínero (UNAGRO)	4	3	4	5	5	5	5	5	6	5	5	4	5
Puerto Suárez	6	6	6	6	6	7	7	7	9	7	7	6	7
Roboré	11	9	7	7	9	9	11	11	11	11	9	9	9
Saavedra (CIMCA)	7	7	7	8	10	11	12	11	11	10	9	8	9
San Antonio de Parapetí	18	17	16	16	15	15	18	20	22	24	22	18	18
Santa Ana	17	17	17	18	18	17	19	19	22	21	20	17	18
San Javier	13	11	11	11	13	13	15	15	17	15	13	13	13
San Ignacio de Velasco	9	7	7	7	7	7	9	11	11	11	9	9	9
San José de Chiquitos	5	4	4	5	5	5	6	6	7	6	6	6	5
San Matías	7	7	7	7	6	7	7	7	9	7	7	6	7
San Julián	4	4	4	3	5	5	6	5	6	5	5	4	5
Universidad A.G.R.M.	7	7	7	7	9	9	11	10	9	10	9	8	8
Vallegrande	33	30	26	31	30	31	35	37	37	35	35	37	33
Viru Viru	17	17	17	19	19	20	22	20	19	19	17	15	19

3.2.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evapotranspiración es un factor clave en la determinación de las necesidades de riego y la recarga del agua subterránea. Para fines de diseño de sistemas de riego se puede definir dos valores de evapotranspiración: el potencial y el actual. La evapotranspiración potencial (ET_o) se define como la máxima pérdida de agua en un cultivo extensivo y uniforme de gramíneas (alfalfa), de 8 a 15 cm de altura, en crecimiento activo, sin escasez de agua y sin suelo expuesto. O sea, se trata del potencial máximo

de pérdida de agua por el consumo de plantas (transpiración) y su evaporación (son necesarios 2,46 X 10⁶ joules/m² de energía para evaporar 1 kg de agua). Para determinar la evapotranspiración potencial de cada cultivo se utiliza un valor denominado K, que se multiplica por la ET_o. El valor de K se puede estimar para cada cultivo y para cada región. Por ejemplo, los factores de K para la soya (Pronar, 2002), que tiene un ciclo vegetativo de 120 días, en la región del Chaco, son de 0,30, 0,45, 0,77, 1,10, 0,45 para cada mes del ciclo, comen-

Tabla 3.9
Métodos para el cálculo de ET_o

Nº	Variables	Blaney Criddle	Hargreaves	Penman-monteith
1	Temperatura media (mes) °C	X	X	X
2	Temperatura media máxima	X	X	X
3	Temperatura media mínima	X	X	X
4	Humedad del aire (%)	E	--	X
5	Insolación (%) u (hr)	E	--	X
6	Velocidad de viento (m/s)	E	--	X

X = datos medidos; E = datos estimados

Fuente: PRONAR – 2002
Programa CROPWAT 4 presentado por la FAO. <http://www.fao.org/ag/agl/aglw/cropwat.stm>

Tabla 3.10
Cálculo de evapotranspiración potencial en (mm/día) para estaciones con datos de temperatura, humedad y vientos

Estación	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	anual
Ascensión de Guarayos	4,13	4,42	4,12	3,58	2,99	2,93	3,52	4,39	4,83	5,44	5,09	4,60	1.521
Camiri	5,16	4,69	4,13	3,26	2,58	2,22	2,69	3,51	4,55	5,24	5,28	5,28	1.477
Comarapa	4,37	4,19	3,83	3,25	2,99	3,12	3,46	4,16	4,70	4,85	4,72	4,44	1.462
Concepción	4,70	4,74	4,43	3,81	3,27	3,24	3,78	4,45	5,44	5,77	5,57	5,02	1.648
Est, Exp, Vallecito	4,62	4,73	4,43	3,76	3,09	2,97	3,56	4,57	5,06	5,60	5,52	5,08	1.611
El Trompillo	5,09	4,99	4,49	3,71	3,10	3,09	3,66	4,78	5,49	5,84	5,74	5,21	1.677
Mairana	4,70	4,48	4,13	3,45	2,83	2,56	2,80	3,54	4,19	4,63	4,80	4,76	1.424
Mínero (UNAGRO)	4,55	4,32	4,09	3,46	2,71	2,46	2,78	3,52	4,23	4,77	4,99	4,75	1.418
Puerto Suárez	4,90	4,67	4,35	3,61	2,71	2,77	3,00	3,70	4,65	5,14	5,19	4,87	1.506
Roboré	5,67	5,10	4,65	3,79	3,23	2,96	3,55	4,56	5,05	5,79	5,55	5,20	1.676
Saavedra (CIMCA)	4,55	4,47	4,19	3,55	3,00	2,84	3,35	4,22	4,92	5,25	5,20	4,79	1.531
San Antonio de Parapeti	5,62	5,39	4,82	3,76	3,01	2,90	3,58	4,96	5,84	6,90	6,64	5,88	1.803
San Javier	4,29	4,56	4,24	3,55	3,15	2,96	3,58	4,57	5,16	5,61	5,16	4,25	1.553
San Ignacio de Velasco	4,81	4,71	4,41	3,87	3,21	3,05	3,52	4,62	5,14	5,80	5,41	4,97	1.627
San José de Chiquitos	4,90	4,58	4,18	3,58	2,99	2,74	3,13	3,95	4,82	5,29	5,25	4,98	1.532
San Matías	5,77	5,73	5,40	4,72	4,16	3,87	4,34	5,40	6,43	6,54	6,73	6,04	1.980
San Juan de Yapacani	4,48	4,52	3,94	3,65	2,92	2,68	2,96	3,82	4,45	4,98	5,10	4,77	1.467
San Julián	4,82	4,69	4,44	3,67	3,04	2,72	3,15	3,85	4,68	5,18	5,12	4,90	1.528
Universidad A.G.R.M.	4,76	4,65	4,29	3,59	2,94	2,70	3,23	4,04	4,60	5,26	5,20	4,82	1.523
Vallegrande	4,67	4,30	3,92	3,24	2,84	2,92	3,44	4,48	4,62	5,35	5,04	4,62	1.504
Viru Viru	4,34	4,97	4,59	3,78	3,09	3,26	3,83	4,87	5,27	5,97	5,74	5,02	1.663

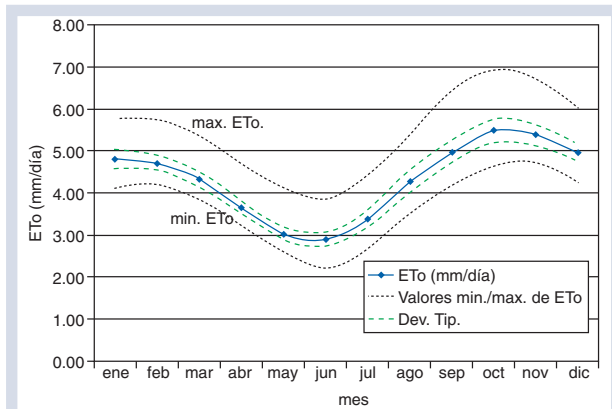


Figura 3.5. Medias mensuales de evapotranspiración potencial (ETo).

zando de la germinación hasta la cosecha. Si en el primer mes del cultivo tenemos un valor de 5 mm diarios de evapotranspiración potencial, el valor estimado de evapotranspiración del cultivo sería de 1.5 mm.

La “evapotranspiración actual” es la verdadera pérdida de agua, que depende de las condiciones climáticas reales y de los cultivos de cada región. Datos actuales de mediciones de ETo no existen para el área de estudio, ni siquiera si se usan extrapolaciones con tanques de evaporación.

Para el análisis de ETo con los datos climáticos disponibles de las estaciones del departamento fueron utilizados los modelos presentados en la Tabla 3.9. Los modelos, datos y resultados fueron compilados en planillas de Excel que se anexan en un CD.

En la Tabla 3.10. presentamos un resumen de los resultados obtenidos mediante el uso del modelo de ETo, que utiliza datos de temperatura, humedad, y vientos. Los valores de ETo mensuales fueron calculados en mm para las estaciones del departamento en las cuales se produce la información necesaria para el modelo. En la Figura

3.5. mostramos la curva de ETo media para el departamento y también curvas mostrando valores mínimos y máximos de ETo. Las épocas secas y húmedas que coinciden con el invierno y el verano son claramente distinguidas en el gráfico. ETo tiene una relación directa con la energía disponible para el crecimiento de cultivos. Cuando el valor de ETo sube, el potencial de crecimiento de la planta también se incrementa, por lo que se trata de un factor importante a tomar en cuenta en la planificación de la siembra.

3.3. RECARGA DE ACUÍFEROS POR PRECIPITACIÓN Y POR RÍOS

La recarga de los acuíferos en la región del estudio ocurre de dos formas: 1) recarga por lluvia y 2) recarga por ríos. En la Figura 3.6. mostramos cómo ocurre la recarga de aguas subterráneas por medio de precipitación e infiltración profunda a los acuíferos. En general este tipo de recarga es lenta y ocurre principalmente en el verano, cuando las lluvias son fuertes y de larga duración, permitiendo la percolación profunda. Se estima que para las condiciones de la llanura cruceña, del 5 al 10% de la precipitación termina en percolación profunda; sin embargo, estos valores son únicamente una aproximación bruta porque en la región existe una variación grande en tipos de textura de suelos, material del subsuelo, intensidades de precipitación, variaciones de relieve, vegetación, etc., que pueden incrementar o disminuir la percolación profunda.

En la Figura 3.7 mostramos un diagrama de la recarga por ríos. Esta recarga normalmente tiene una infiltración más rápida que la que se produce por precipitación. Los ríos Grande, Parapetí, Piraí y otros aportan sus aguas a la recarga de los acuíferos de la llanura cruceña. Es de

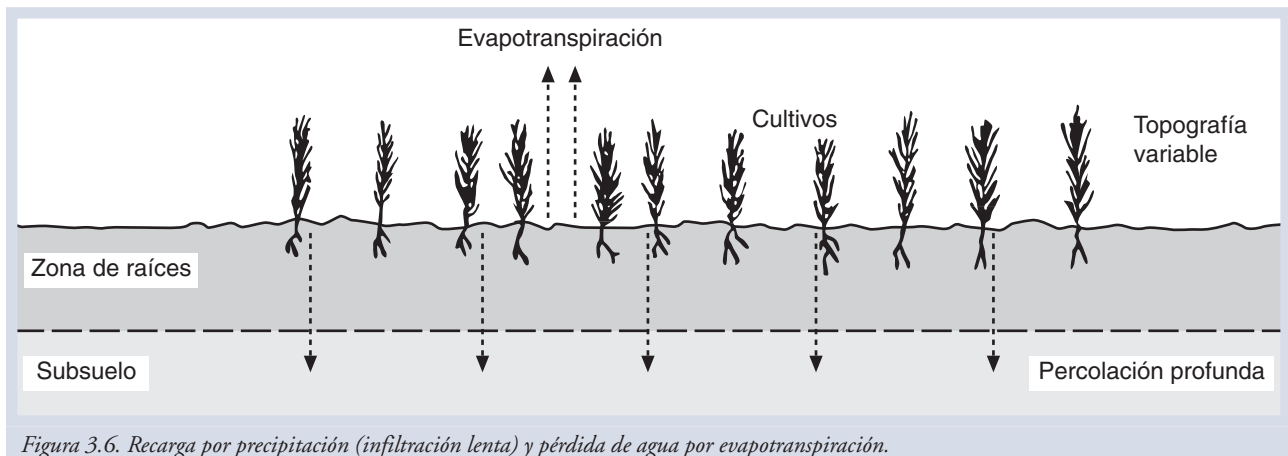


Figura 3.6. Recarga por precipitación (infiltración lenta) y pérdida de agua por evapotranspiración.

extrema importancia proteger el cauce del río, las áreas de inundación natural del río y las cuencas de captación porque allí es donde ocurre la recarga del agua. Un manejo inadecuado puede causar más inundaciones, polución del río y de los acuíferos, y otros problemas.

A continuación mostramos un cálculo simple de los valores de recarga para la región del Río Grande-Parapetí, realizado por Lutz Werding (1977, proyecto Abapó-Izozog). En ese estudio se definió un área de 45.000 km² para la cuenca del Río Grande y el Parapetí, aproximadamente hasta las rieles del ferrocarril. Se estimó una precipitación media de 650 mm y se asumió un 10% de infiltración profunda (valor calculado tomando en cuenta los suelos aluviales de la



Figura 3.7. a) Recarga del acuífero por ríos.

región sur, que contienen un gran porcentaje de arena, lo que facilita la infiltración).

Ejemplo: Cálculo de recarga de agua para la región

Recarga por precipitación: $2.960 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$

Río Grande*: $2.100 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$

Ríos pequeños: $50 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$

Parapetí (casi todo consumido en la región):

$960 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$

Recarga Total: $5970 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$

* Infiltración del Río Grande entre Abapó y Puerto Pailas

Menos aprox. 500×10^6 que sale del acuífero en la región norte (estimación grosera)

Total de recarga para el área de 40.000 km²:

$5.500 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$

Como la llanura cruceña está confinada (al este por la Chiquitanía, al oeste por el sub-andino, al sur por factores topográficos y fisiográficos), se puede plantear algunas hipótesis sobre el destino de esta recarga de agua. Una de ellas es que esté siendo sumada a los acuíferos del sistema aluvial reciente de la llanura cruceña. Otra es que esté siendo consumida por la vegetación o contribuyendo al desarrollo de los bañados o pantanos en la región. Estas son hipótesis que deben ser estudiadas con mayor detalle en un futuro cercano.

En la sección de zonificación se hacen cálculos más específicos de la recarga de agua en distintas zonas de la región.

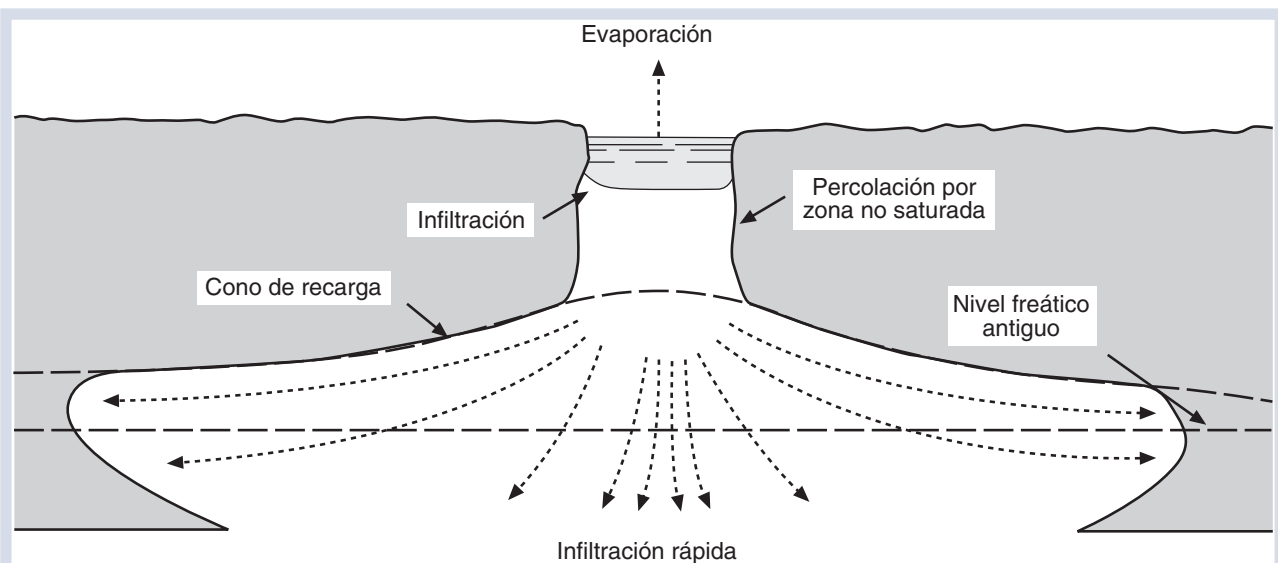


Figura 3.7. b) Recarga del acuífero por ríos (infiltración rápida) y pérdida por evaporación.

3.4. FACTORES HIDRÁULICOS PARA AGUAS SUBTERRÁNEAS

Los informes hidráulicos para la región de estudio son muy limitados. Hay dos fuentes principales:

- Estudios realizados por SAGUAPAC de la cuenca del río Piraí.
- Estudios del proyecto Abapó-Izozog realizados por Agrar und Hydrotechnik, para la FAO.

La recolección de datos más precisos requiere de una inversión significativa en la perforación de pozos piloto y en la realización de pruebas de bombeo a largo plazo. Los datos actualmente disponibles para las lla-

nuras aluviales antiguas del Río Grande son los siguientes:

Transmisividad: variaciones de 1.100 a 2.100 m²/día
 Coeficiente de permeabilidad: 0,01 a 0,02 cm/s
 Coeficiente de almacenamiento: $0,5 \times 10^{-3}$ a $0,6 \times 10^{-5}$

Estos parámetros fueron calculados después de realizar pruebas de bombeo en algunos pozos del proyecto Abapó-Izozog. Son necesarios más estudios y más pruebas de bombeo para poder determinar los parámetros de toda la llanura cruceña.

(4) CALIDAD DEL AGUA

Hay varios factores que definen la calidad de agua para riego, sea ésta agua superficial o subterránea. En la Tabla 4.1. presentamos los factores que son utilizados para evaluar la calidad de agua para riego. El parámetro más utilizado es la conductividad eléctrica, la cual es medida con un medidor electrónico de conductividad de agua. Es una manera sencilla y rápida (*in situ*) de determinar la disolución de sólidos en el total de agua, lo que

permite tener una base para poder comparar y determinar la calidad del agua.

La interpretación de los factores que permiten evaluar la calidad de agua para riego es muy importante. En la Tabla 4.2. presentamos una guía para la interpretación de estos factores, en la cual se define la magnitud del problema de la calidad del agua mediante tres categorías: ninguna, mediana y severa.

Tabla 4.1.
Factores para evaluar la calidad de agua para riego*

Factores	Símbolo	Unidad	Peso atómico
Contenido de sales			
(1) Conductividad eléctrica	EC	dS/m (1 milliomho/cm a 25°C)	
(2) Concentración	C	mg/L o mol/m ³	
Sodio			
(1) absorción de sodio	SAR	$SAR = Na / (Ca + Mg)^{1/2}$	
(2) absorción de sodio ajustado	Adj. SAR	$= [Na / (Ca + Mg)^{1/2}] [1 + (8.4 - pH_c)]$	
Composición			
(1) cationes			
Calcio	Ca	mol/m ³	40,1
Magnesio	Mg	mol/m ³	24,3
Sodio	Na	mol/m ³	23,0
Potasio	K	mol/m ³	39,1
(2) aniones			
Bicarbonato	HCO ³	mol/m ³	61,0
Sulfato	SO ⁴	mol/m ³	96,1
Cloro	Cl	mol/m ³	35,5
carbonato	CO ³	mol/m ³	60,0
nitrito	NO ³	mg/L	62
Elementos			
Boro	B	mg/L	10,8
Acidez o Alcalinidad	pH		

*Fuente: ASAE, 1983

Tabla 4.2.
Guía para la interpretación de calidad de agua para riego

Criterio de calidad de agua	Magnitud del problema de la calidad del agua		
	Ninguna	Moderada	Severa
Salinidad			
EC (dS/m)	< 0,75	0,75-3	> 3
Permeabilidad			
1. Poca sal en el agua EC (dS/m)	>0,5	0,5-0,2	<0,2
2. Peligro de sodio (adj. SAR)			
Suelos con arcillas Montmorilloníticas	< 6	6-9	> 9
Suelos con arcillas Illitas-Vermiculíticas	< 8	8-16	>16
Suelos con arcillas Kaoliniticas-Sesquioxidas	<16	16-24	>24
Toxicidad iónica específica			
Sodio† (adj. SAR)	< 3	3 – 9	> 9
Cloro† (mol/m ³)	< 4	4 – 10	> 10
Boro (mg/L)	< 0,75	0,75 – 2,0	> 2,0
Otros factores			
Nitrógeno (mg/L)	< 5	5 – 30	> 30
Bicarbonato (mol/m ³)‡	< 1,5	1,5 – 8,5	>8,5
pH	Normal entre 6,5 y 8,4		

Fuente: ASAE, 1983 – (derivado de Ayers and Westcot, 1976)

† Valores para cultivos sensitivos como árboles o frutales, pero la mayoría de cultivos anuales son menos sensibles.

‡ riego con agua con alto contenido de bicarbonato en periodos de humedad baja puede causar depósitos blancos en las hojas y fruta de la planta.

El factor “conductividad del agua” puede todavía dividirse en varias otras categorías, como muestra la Tabla 4.3., que usa una subdivisión elaborada por Wilcox (1948).

Tabla 4.3.
Subdivisión de conductividad eléctrica en varias categorías para definir mejor la clase de agua para riego

Clase de agua*	cE (microhmios /cm a 25oC)
Excelente	< 250
Buena	250-750
Permisible	750 – 2000
Dudosa	2.000 – 3.000
Inadecuada	> 3000

* Conforme Wilcox (1948).

La calidad del agua también es afectada por trazos de herbicidas y pesticidas que llegan al agua (superficial o subterránea). Se necesita hacer un análisis para determinar este tipo de polución en regiones de extensa producción agrícola. Se recomienda a los agricultores usar estas substancias en las cantidades recomendadas para la región donde son aplicadas, y emplear soluciones que puedan ser absorbidas por el suelo, o biodegradables.

4.1. CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL

La conductividad eléctrica en los ríos Grande y Parapetí fue medida en forma regular de 1973 a 1974. En el Río Grande, los valores en la época seca son de 800 microhmios/cm; en cambio, en el periodo lluvioso son de 500 microhmios/cm. En el río Parapetí los valores son mucho más bajos: del orden de los 100 microhmios/cm en época lluviosa y los 220 microhmios/cm en época de estiaje.

También hay mediciones de la conductividad del agua de los ríos pequeños que nacen en la faja subandina. Podemos mencionar las siguientes:

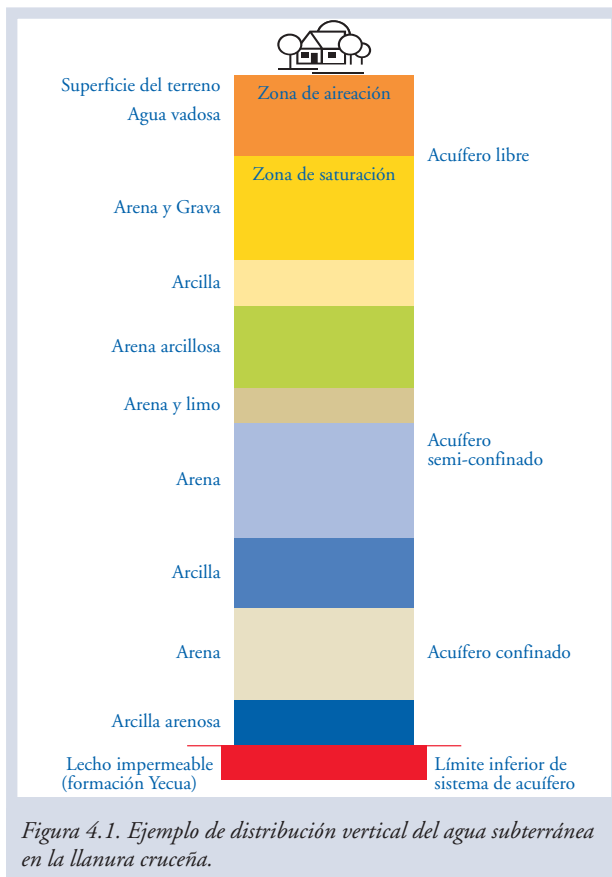
- Quebrada de Charagua: 750 microhmios/cm (3/4/74).
- Quebrada de Muchiri: 1.150 microhmios/cm (12/1971).
- Quebrada de Caipepe: 590 microhmios/cm (12/71 y 7/74).
- Quebrada de Tataranda: 440 microhmios/cm (3/1973).

En general, en esta región el contenido de sales de las aguas subterráneas es mayor respecto a las aguas superficiales.

4.2. CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

En los capítulos anteriores de este libro ya se hizo una caracterización del yacimiento de agua subterránea de la llanura cruceña. Lo más sobresaliente es lo siguiente: cubre un área de aproximadamente 60.000 km²; su espesor varía entre los 500 m al norte de la ciudad de Montero y los 1.200 m al sur; está compuesto por una alternancia de arenas y gravas de 1 a 30 m de espesor, que se intercala con capas de arcillas y arcillas arenosas y de poca extensión (forma lenticular). Con la finalidad de facilitar su conocimiento, en la Figura 4.1. se muestra una típica distribución vertical del agua subterránea de la llanura cruceña. El nivel del agua subterránea varía de los 5 m al norte de la ciudad de Montero a los entre 15 y 180 m que se registran al sur. El sentido del escurrimiento va del suroeste al noreste, siguiendo la pendiente natural del terreno. La recarga del depósito de agua subterránea se da por la infiltración del agua de lluvia y de los ríos (Grande, Parapetí, Piraí y otros).

Está claro que la calidad del agua subterránea está íntimamente relacionada con la composición química de los materiales acuíferos, especialmente con la natura-



leza y la cantidad de sustancias solubles que contienen. La secuencia litológica del depósito de agua subterránea de la llanura cruceña está compuesta por gravas y arenas de composición mineralógica cuarzo (SiO₂) en un alto porcentaje. La solubilidad de parte de estos materiales es mínima, por lo que en general la calidad del agua subterránea es buena, aunque existen algunas excepciones. Cabe destacar también que hay evaluaciones de la calidad de las aguas de los ríos y los pozos de varias partes de la llanura cruceña. Un buen ejemplo es el estudio llamado “Evaluación de la calidad de las aguas de los ríos y los pozos en las colonias japonesas de Bolivia” (Siles Lujan et. al., 1999), realizado por el Centro Tecnológico Agropecuario en Bolivia (CETABOL) y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA).

Como un ejemplo de esta situación, en el mapa de la Figura 4.2. se muestra una interpolación de valores de conductividad eléctrica obtenidos en una red de pozos de observación de la región de sur del área de estudio. Los valores de conductividad de agua en la región norte del área de estudio son relativamente bajos, lo que por lo general implica una buena calidad de agua. Existen pocas mediciones de conductividad al este de la región de estudio (Tres Cruces y otros), lo que dificulta la valoración de la calidad de agua en esta zona; sin embargo, las pocas mediciones de calidad de agua realizadas muestran por lo general que el agua subterránea es adecuada para riego. Otro factor importante que tomar en cuenta respecto a la calidad de agua subterránea es la profundidad de la que se extrae del agua. En la mayoría de los casos, cuanto más profunda es el agua mayor es su calidad.

En el mapa de la Figura 4.2. se puede ver la zonificación de la región en base a la calidad de agua para fines de riego existente en varias zonas, como se ve a continuación.

Primera clase de agua: Con excelente rango, menor que 250 microhmios. Se encuentra ubicada al oeste del área de estudio y ocupa la unidad de pie de monte, desde la localidad de Curichi, y al sur, hasta el límite norte de la llanura cruceña. En el mapa se muestra en color verde oscuro.

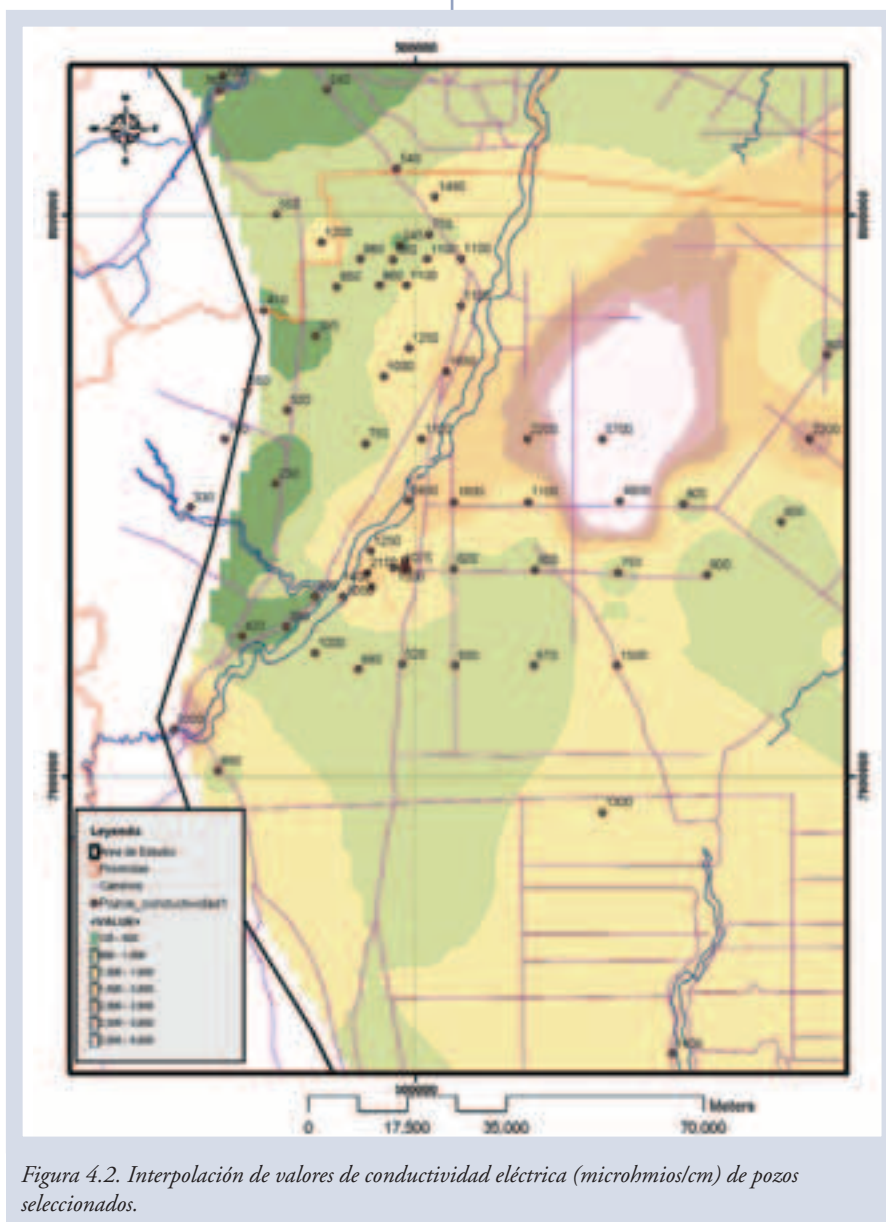
Segunda clase de agua: De buena a permisible, con un rango de 250 a 750 microhmios/cm. Se halla distribuida en toda la región, pero su mayor concentración se encuentra al norte, al oeste del área de trabajo, en los Arenales de Guanacos que se marcan en el mapa con color

verde claro. Esta clase de agua subterránea puede ser empleada para riego de frutales, cereales, hortalizas y forrajes, sin temor a que los efectos de las sales del agua causen cambios en la estructura, permeabilidad y aireación de los suelos, e incidan indirectamente en el rendimiento de las plantas.

Se puede ver que los valores de conductividad eléctrica registrados en la zona de pie de monte están por debajo de los 500 microhmios/cm; esto parece indicar la existencia de zonas de recarga de aguas superficiales, que seguramente se encuentran en la desembocadura de los pequeños cursos de agua cuyas nacientes pertenecen a la faja subandina. Algunos ejemplos se encuentran en el río Piráí, el Río Seco, el río Pantano y otros. Esta clase

de agua es aprovechada para todos los fines requeridos por el hombre.

Tercera clase de agua: Permisible, con un rango de 750 a 2.000 microhmios/cm. Ocupa el relieve llano y cubre un alto porcentaje de éste (en el mapa se ve en color amarillo claro). Los valores relativamente elevados de conductividad eléctrica registrados en este lugar se deben probablemente a la infiltración de las sales que resultan de la evaporación del agua de lluvia. Por eso, durante el bombeo continuo de un pozo de agua por 72 horas, los registros periódicos de la conductividad eléctrica bajaron de 2.000 a 1.000 microhmios/cm, lo cual parece indicar que la conductividad del agua subterránea está influida por la concentración de sales. Desde luego, es



necesario hacer una investigación más amplia sobre esta hipótesis. Esta clase de agua puede ser aplicada para riego de frutales, forrajeras, cereales y hortalizas, dependiendo de la física y la composición química del suelo.

Cuarta clase de agua: Dudosa, con rango de 2.000 a 3.000 microhmios/cm. Esta clase de agua ocupa un área reducida dentro de la zona llana y está ubicada entre el Río Grande y el Parapetí (de color marrón en el mapa). Es resultado de las inundaciones durante los periodos de lluvia; el flujo de agua es lento y la evaporación del agua da lugar a la concentración de sales en los estratos superiores, y posteriormente de percolado a los inferiores.

Quinta clase de agua: Inapropiada, rango superior a 3.000 microhmios/cm. Esta clase de agua no es muy común en la llanura cruceña. Donde está principalmente por la concentración de sales superficiales a causa de los ciclos de inundaciones y de la evaporación extrema.

En la mayor parte de la región, la calidad del agua es buena o permisible para consumo humano y riego. El depósito de agua subterránea fue y continúa siendo la principal fuente de abastecimiento de agua de buena calidad para atender todas las necesidades del ser humano en esta región.

4.3. RIESGOS DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL

En la actualidad el aumento poblacional y el desarrollo económico de la llanura cruceña son notorios y seguramente serán mucho mayores en el futuro. Esto implica una demanda de agua de buena calidad, de lo cual surgen algunas interrogantes:

¿Las reservas de agua disponibles en el depósito subterráneo son suficientes para atender la demanda futura?

¿La calidad del agua de este depósito mantendrá su calidad, o ésta ya se está deteriorando (aumento en uso de pesticidas, herbicidas, etc.)?

¿Cuál es el grado de deterioro actual y futuro por el aumento constante de desechos líquidos y sólidos, provenientes de los centros urbanos e industriales, vertidos a los cursos de agua superficial (Río Grande, río Parapetí, río Piraí, río Pantano, río Chivato, etc.) que alimentan el depósito?

¿Cuál es el grado actual de deterioro del agua por el incremento constante de desechos sólidos (basura proveniente de los centros urbanos) que no son depositados siguiendo normas sanitarias adecuadas, que evitarían la polución de los acuíferos por infiltración?

Tabla 4.4.
Medios hidrogeológicos y su vulnerabilidad a contaminación de aguas subterráneas

Medio hidrogeológico	Tiempo típico de desplazamiento al nivel freático	Potencial de atención del acuífero	Vulnerabilidad a la contaminación
<i>Sedimentos aluviales y de llanuras costeras</i>			
No confinado	Meses-años	Alto-moderado	Moderada
Semiconfinado	Años-décadas	Alto	Baja
<i>Rellenos de valles intermontañosos</i>			
No confinado	Meses-años	Moderado-alto	Moderada
Semiconfinado	Años-décadas	Moderado	Moderado-baja
<i>Acuíferos sedimentarios consolidados</i>			
Arenisca porosas	Semanas-años	Alto	Moderado-alta
Calizas cárticas	Días-semanas	Bajo-moderado	Extrema
<i>Calizas costeras</i>			
No confinado	Días-semanas	Bajo-moderado	Alta-extrema
<i>Depósitos glaciales</i>			
No confinado	Semanas-años	Moderado	Alta-moderada
<i>Base rocosa intemperizada</i>			
No confinado	Días-semanas	Bajo	Alta-extrema
Semiconfinado	Semanas-años	Moderado	Moderada
<i>Llanuras de loess</i>			
No confinado	Días-meses	Bajo-moderado	Moderada-alta

Fuente: Morris et al., 2003

Estas son algunas de las interrogantes que tienen que ser estudiadas a fondo en el futuro cercano. Ahora es posible afirmar que el crecimiento extensivo del riego y la perforación indiscriminada de pozos de agua para uso agrícola, comunitario, o para consumo individual, puede causar serios problemas de polución de las aguas profundas de la llanura cruceña. La calidad de la construcción de los pozos de agua es de extrema importancia, ya que por medio de éstos se puede contaminar las aguas más profundas. Normas técnicas estrictas deben ser seguidas para la construcción ideal de pozos (ver la sección 2.5.). En la Tabla 4.4. mostramos los medios hidrológicos y su vulnerabilidad a la contaminación. En la llanura cruceña hay sedimentos aluviales confinados, semi-confinados y no confinados, lo que resultaría en

una vulnerabilidad moderada a baja. En la región sur, en cambio, por las características sedimentarias y un menor grado de confinamiento, la vulnerabilidad ante la contaminación sería mayor.

Instituciones públicas dependientes de la prefectura como Proasu-Jica, que trabajan en la provisión de agua potable para las comunidades, recomiendan la formación de equipos de inspectores de perforación de pozos de aguas, dependientes de la prefectura del departamento, SAGUAPAC y otras instituciones estatales para fiscalizar el cumplimiento de lo estipulado en el Pliego de Especificaciones Técnicas (de la desaparecida CORDECRUZ) y en la Ley o el Código de Aguas. La fiscalización sería indispensable para prevenir la contaminación indiscriminada de los recursos subterráneos de agua.

(5) RIEGO AGRÍCOLA

El riego agrícola demanda una fuerte inversión económica, un entendimiento profundo de las técnicas agrícolas y una dedicación laboral y administrativa constante de parte del agricultor. Además de esto, la decisión inicial de implementar un sistema de riego depende de un análisis de varios factores económicos, logísticos, ecológicos y también sociales. La complejidad de estos factores en muchos casos impide la adopción de sistemas de riego. Por este motivo, es fundamental que haya un impulso inicial, dado por el sector privado o el público, para el arranque de la agricultura con riego en las regiones de elevada pobreza o de baja productividad. Se necesita de voluntad política o de alguna iniciativa privada coordinada que permita la asistencia técnica y el establecimiento de fuentes de crédito, a fin de lograr un sistema agrícola productivo, innovador y autosuficiente.

Los beneficios del riego agrícola, en cuanto al incremento de la producción agrícola y la disminución de pobreza, son amplios. Un sistema de riego, implementado adecuadamente, tiene las siguientes ventajas:

- Permite al agricultor un mayor control del sistema de producción agrícola; por ejemplo: controlar la fecha de plantío, planificar hasta tres cultivos por año, producir en épocas en las que los productos tienen un valor más grande, etc.
- Permite mejorar y garantizar la producción agrícola, minimizando la dependencia de las lluvias y evitando pérdidas en años “malos”.
- Permite la exploración agrícola en regiones con una sustancial falta de lluvias, abriendo nuevas fronteras de producción agrícola y fomentando la agricultura y el desenvolvimiento regional.

La implementación de un sistema de riego se puede dividir en dos partes: 1) el diseño del sistema de riego, y 2) la operación del mismo, como se muestra en la Figura 5.1. El diseño depende de los requerimientos de los cul-

tivos agrícolas, de la disponibilidad de agua, y también de la energía para bombeo de agua. Estos factores son utilizados para determinar el diseño ideal del sistema de riego, que consiste en identificar los equipos de riego ideales y la forma de abastecimiento de agua. Esto permite calcular los costos fijos del riego. La operación del sistema de riego depende de variables como las necesidades reales de agua para los cultivos, la reparación de los equipos, los cultivos y precios de mercado, etc. Los costos operacionales son variables y dependen de los requisitos energéticos para uso de las bombas (que están ligados a los requerimientos de agua y a la eficiencia del sistema), la reparación y el mantenimiento, los costos laborales y administrativos, los precios del cultivo en el mercado, la disponibilidad de financiamiento y otros.

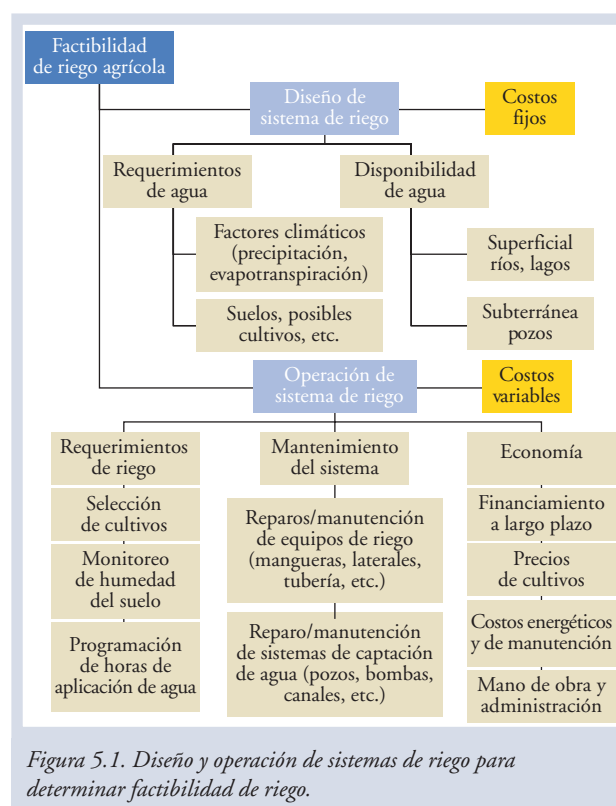


Figura 5.1. Diseño y operación de sistemas de riego para determinar factibilidad de riego.

En las zonas de expansión agrícola de Santa Cruz, al este y sur, la mayor variable para estabilizar la producción agrícola es la disponibilidad de agua. Esto significa que el riego es necesario para mantener una producción estable. Sin embargo, el riego no es una solución absoluta para mejorar la producción. Esto depende de varios otros factores que deben operar junto al riego. Algunos de estos factores son los siguientes:

- *Drenaje de los suelos:* Por lo general los suelos con buen drenaje son los más apropiados para la producción extensiva. Algunos suelos más arcillosos retienen más agua y disminuyen la necesidad de riego. Sin embargo, suelos mal drenados pueden causar la atrofización del cultivo y la disminución de la productividad. Un buen drenaje también es importante a la hora de la cosecha.
- *Fertilidad:* Una alta fertilidad del suelo permite un buen crecimiento del cultivo. Fallas en la fertilidad del suelo deben ser corregidas mediante aplicación de fertilizantes. Algunos sistemas de riego pueden ser utilizados para administrar fertilizantes junto con el agua.
- *Profundidad de suelos y compactación:* Problemas de profundidad o de compactación de los suelos pueden causar alteraciones en las raíces y afectar la

producción agrícola. La aplicación excesiva de agua en los suelos compactados puede causar más problemas aún.

- *Plagas, enfermedades, hierbas:* El control de las plagas y las enfermedades de los cultivos es también importante para la producción. El riego excesivo puede agravar estos problemas; en cambio, un riego apropiado puede ayudar en el control de plagas. Con algunos sistemas de riego se puede aplicar herbicidas o pesticidas junto con el agua.
- *Manejo agrícola:* Un buen manejo del sistema de riego, y agrícola, en general, es esencial para incrementar la producción.
- *Semilla de calidad:* Semillas de buena calidad y con un buen porcentaje de germinación son también un factor importante para la producción agrícola.

En este capítulo presentamos las condiciones actuales de riego en la región de Santa Cruz, una perspectiva general de los requerimientos de riego, una discusión sobre los distintos sistemas de riego disponibles, y una descripción de las fuentes energéticas disponibles para el riego y los diversos equipos de bombeo.

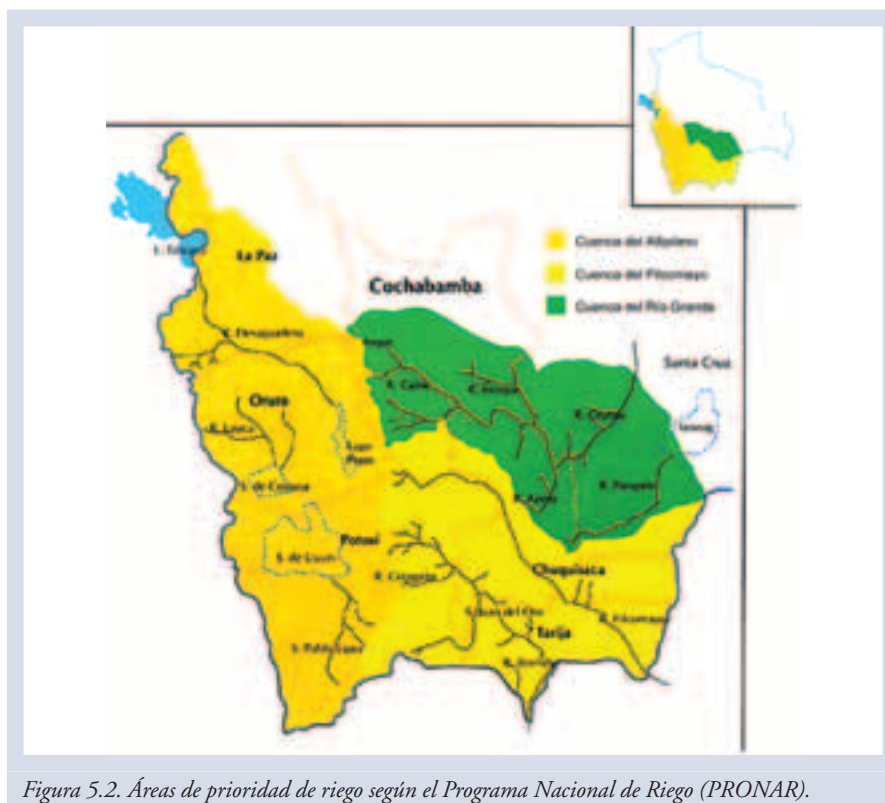


Figura 5.2. Áreas de prioridad de riego según el Programa Nacional de Riego (PRONAR).

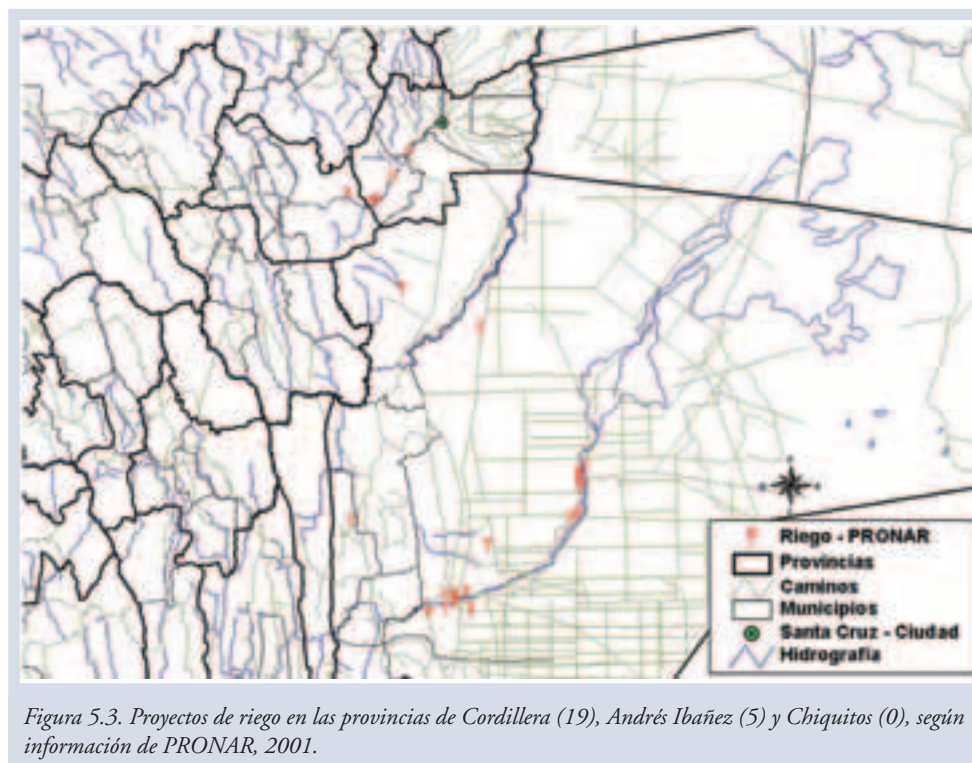


Tabla 5.1.
Lista de sistemas de riego actual (2001) para el área de estudio, según el PRONAR

Código	Provincia	Municipio	Nombre	Funciona	Categoría	Área (ha)
LPIR000132	Cordillera	Charagua	Capiatindi	Sí	Mediano	125
LPIR005088	Cordillera	Charagua	Central Charagua	Sí	Mediano	240
LPIR000133	Cordillera	Charagua	Coperes	Sí	Mediano	350
LPIR000129	Cordillera	Charagua	Koropo - Ijovi - Aguaragua	Sí	Grande	520
LPIR000130	Cordillera	Charagua	La Brecha (guira Yhoasa)	Sí	Mediano	340
LPIR000127	Cordillera	Charagua	Mini	Sí	Micro	10
LPIR000126	Cordillera	Charagua	Rancho Nuevo	Sí	Mediano	490
LPIR000136	Cordillera	Charagua	San Antonio de Parapetí	Sí	Pequeño	20
LPIR000135	Cordillera	Charagua	San Francisco	Sí	Pequeño	65
LPIR000128	Cordillera	Charagua	Tamachindi	Sí	Mediano	360
LPIR000134	Cordillera	Charagua	Tarenda	Sí	Mediano	105
LPIR000131	Cordillera	Charagua	Yapiroa	Sí	Mediano	180
LPIR000138	Cordillera	Charagua	Casa Alta	Sí	Mediano	175
LPIR000139	Cordillera	Charagua	Casa Alta (aguas Abajo)	Sí	Pequeño	20
LPIR000137	Cordillera	Charagua	Pueblo Nuevo	No	Pequeño	20
LPIR000143	Cordillera	Cabezas	Abapó-Izozog (aldea Dos)	Sí	Mediano	380
LPIR000142	Cordillera	Cabezas	Florida	No	Mediano	180
LPIR000141	Cordillera	Camiri	Itiyuro	Sí	Pequeño	60
LPIR000140	Cordillera	Camiri	La Cabaña - Pipi	No	Pequeño	50
LPIR005087	Andrés Ibáñez	La Guardia	Santa Martha	Sí	Pequeño	24
LPIR005083	Andrés Ibáñez	La Guardia	Angostura	Sí	Mediano	210
LPIR005082	Andrés Ibáñez	La Guardia	Bermejo	Sí	Pequeño	45
LPIR005086	Andrés Ibáñez	La Guardia	Jorochito	Sí	Mediano	220
LPIR005084	Andrés Ibáñez	La Guardia	San Luis/Guardia	Sí	Pequeño	70

Tabla 5.2.
Propuesta de proyectos para el departamento (Ministerio de Desarrollo Sostenible)

Proyectos	Localización	Entidad ejecutora	Fuente externa	Fase actual	Postula a la fase	Horizonte de vida
Proyecto de Riego Parabanó (Santa Cruz)	SCZ	PREF.MUN.PRIV.	N D	PERE.	FACT.INV.	3 Años
Proyecto de Riego Itangua - Cuevo (Santa Cruz)	SCZ	PREF.MUN	N D	PREFAC.	FACT.	1 Año
Actualización Estudio de Riego Rositas (Santa Cruz)	SCZ	PREF.MUN.	N D	FACT.	FACT.	1 Año
- Programa Perforación de Pozos JICA	MACROREG.	PREF.MUN.PRIV.	JICA	INV.	INV.	5 Años

Los costos iniciales de inversión varían considerablemente de sistema a sistema. El sistema escogido tiene un efecto en el uso de agua y el costo de la energía para bombeo, la mano de obra y la preparación de la tierra. Para considerar la economía de un sistema de riego se tiene que tener en cuenta el balance entre los costos iniciales, de mano de obra, de agua, de energía y de tierra y cultivo. Un factor decisivo para la rentabilidad del sistema es el precio al cual se puede vender la producción final. Un balance económico es presentado al final de esta sección.

5.1.1. PROYECTOS DE RIEGO NACIONAL

La agencia nacional que tiene el mandato de promover el riego es el PRONAR (Programa Nacional de Riego). Esta entidad gubernamental prioriza las regiones mostradas en la Figura 5.2. PRONAR tiene representaciones en el departamento de Santa Cruz (en la Prefectura) y según datos de 2001 mantiene un inventario de los proyectos de riego de la región sur del departamento de Santa Cruz, como muestra la Figura 5.3 y Tabla 5.1. La mayoría de estos proyectos en las provincias de Cordillera y Andrés Ibáñez utilizan agua de río. En este momento se planifican otros proyectos para el futuro.

El Ministerio de Desarrollo Sostenible y la Prefectura del departamento de Santa Cruz tienen varios proyectos ligados al riego agrícola, como muestra la Tabla 5.2. Algunos de estos proyectos ya están siendo ejecutados y pueden ofrecer resultados positivos a las diversas comunidades rurales. Sin embargo, se requiere más inversión y propuestas para incentivar el riego agrícola a gran escala en las regiones de expansión agrícola.

5.1.2. INICIATIVAS PRIVADAS DE RIEGO

Las iniciativas privadas de riego agrícola están surgiendo, como se puede ver en la imagen satelital de la Figura 5.4. Por ejemplo, ANAPO ya reportó los resultados de algunos agricultores con riego con pivote central. Esta institución inició gestiones para promover el riego agrícola en el departamento.

Un resumen de la experiencia de ANAPO en la promoción del riego sigue a continuación:

ANAPO, febrero, 2003: Luego de arduas gestiones realizadas por ANAPO ante instancias públicas, con el fin de que se destinen recursos del PRONAR al departamento de Santa Cruz, se logró que, bajo el amparo del D.S. 26599 que crea el Consejo Interinstitucional del Agua (CONIAG), y de la Resolución Ministerial N° 83/02 que aprueba los conceptos y términos relativos al riego y al micro-riego, la Prefectura de Santa Cruz, conjuntamente con el PRONAR, organicen y diseñen el Plan Departamental de Riego, marco institucional que regirá las actividades futuras de introducción de tecnologías de riego.

Es en este sentido, que en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra se desarrollaron tres seminarios en los que se identificaron los pasos necesarios para la consolidación del Plan Departamental. Se considera que la planificación es territorial, que el riego es una prioridad nacional, que el Plan es el instrumento de promoción del desarrollo sostenible y la reducción de la pobreza y que la cuenca hidrográfica es su unidad de actuación. El sector oleaginoso propuso las siguientes acciones:

a) Conformar un Comité de Riego en el que participen las siguientes entidades: El CONIAG, la Prefectura, la Universidad Autónoma Gabriel René Moreno y



Figura 5.4. Identificación de cuatro localidades de riego por pivote central en la zona de expansión agrícola al este de Río Grande mediante imagen de satélite LandSat, 2001.

productores agrícolas de diferentes regiones (chaco, llanos y valles) a través de sus instituciones gremiales.

b) Gestionar recursos técnicos, logísticos y económicos para la implementación de un programa piloto de riego específico para los llanos, a través de escuelas piloto para pequeños, medianos y grandes productores.

c) Disponer de estudios preliminares hidrométricos, de recursos hídricos subterráneos, del tipo de energía a utilizar.

Adicionalmente, se puso el terreno, el apoyo técnico y la maquinaria del Centro Experimental de ANAPO (CEA-2), a disposición del PRONAR.

Programa de seguimiento a un sistema de riego – ANAPO: Ante el continuo problema de campañas agrícolas con problemas de sequía prolongada, que se dio fundamentalmente en la Zona de Expansión, surgió la inquietud de analizar la viabilidad de los sistemas de riego suplementario para cultivos comerciales. En ese afán, técnicos de ANAPO acompañaron muy de cerca la producción de trigo en campos con un sistema de riego por pivote central, implementados en la propiedad K de Oro.

La propiedad maneja 420 hectáreas divididas en cuatro pivotes. El sistema funciona bombeando el agua desde un pozo principal hacia un reservorio abierto de

10.000 m². De este reservorio se bombea simultáneamente el agua para dos pivotes.

En la campaña de invierno 2002, en tres de los pivotes se sembraron 320 hectáreas de trigo de la variedad BR-18. La siembra se efectuó entre el 15 de abril y el 7 de mayo.

Los rendimientos obtenidos oscilaron entre 2,6 y 2,7 TM/ha, con un costo promedio de 448 \$us./ha, sin incluir el costo financiero. Este costo se distribuye de la siguiente forma:

- Costo directo (insumos y maquinaria): 241 \$us./ha.
- Costo administrativo: 70 \$us./ha.
- Costo del riego: 137 \$us./ha.

ANAPO 2002: Luego del análisis de éstas y otras variables adicionales, se pueden emitir las siguientes conclusiones:

a) Considerando las condiciones climáticas (invierno) en una zona que se caracteriza por baja humedad relativa del ambiente, fuertes vientos en áreas sin rompientes y temperaturas de medias a altas, el sistema utilizado actualmente presenta pérdidas de agua por evaporación del reservorio abierto y por evaporación en el momento del riego, pues los aspersores se ubican muy distantes del cultivo, factores que restan eficiencia al sistema.

b) El agua recibida por el cultivo de las lluvias y el riego ha variado entre 300 y 350 mm, contabilizando la lluvias de la pre-siembra. Esta cantidad posiblemente no es suficiente para obtener mayores rendimientos. Sin embargo, éste puede mejorar, pues existe potencial genético para ello.

c) El costo actual del riego (que usa diesel), sin tomar en cuenta la inversión en el equipo, tiene una incidencia muy alta en el costo total de la producción del trigo.

Los experimentos continúan en ANAPO: Hay también una iniciativa del municipio de Pailón para fomentar el riego extensivo en la región. Se habla de 100.000 ha que serían sometidas a riego por medio de sistemas modernos como el de pivote central. El ánimo para llevar a cabo estas iniciativas sube y baja según los rendimientos agrícolas y las sequías. Después de que se registran pérdidas agrícolas por falta de agua en la temporada, el ánimo para implementar un sistema de riego es alto, pero después de un buen año de lluvia y una buena cosecha, las iniciativas institucionales son pocas. La planificación agrícola es de corto plazo. Al mismo tiempo, el fomento de sistemas de riego rentables requiere una planificación de largo plazo y continuidad. El apoyo gubernamental es en estos casos muy importante, y también lógica, ya que el gobierno podría beneficiarse del desarrollo agrícola colectivo.

5.2. REQUERIMIENTOS DE RIEGO

Los factores meteorológicos son esenciales para estimar los requerimientos de riego. En esta sección presentamos los cálculos de déficit de lluvia para la región.

5.2.1. CÁLCULO DEL DÉFICIT DE LLUVIA

Uno de los pocos estudios extensivos (o el único) de riego en el departamento de Santa Cruz fue el realizado por un equipo de la Universidad de Utah liderado por el profesor Hargraves. El estudio puso foco en la zona agrícola integrada norte. Sin embargo, uno de sus resultados fue un mapa de deficiencia de agua por precipitación (a base de cultivos de granos) *de todo el departamento*, el cual se presenta aquí en la Figura 5.5. En este mapa podemos apreciar los meses en los que el riego sería necesario, los meses con precipitación adecuada y los meses con déficit moderado y severo, para las principales ciudades del departamento. El mapa muestra que las prioridades de riego están en la zona este y sur (chaco) de Santa Cruz,

en la que son necesarios de 8 a 11 meses de riego para lograr un rendimiento adecuado de los cultivos (conforme a los datos climatológicos históricos). Un estudio más detallado de las necesidades de riego para la región se hace en la sección de Zonificación (capítulo 6 de este libro), en la que se presenta los requerimientos de riego para cada zona y para los diferentes cultivos.

El déficit de precipitación se calcula básicamente utilizando la evapotranspiración potencial, calculada según los factores climáticos y la precipitación media y mínima de la región. Para obtener valores realistas de consumo de agua por cada planta, se utiliza un factor Kc para cultivos, el cual tiene un valor de 0 a más de 1, dependiendo de las necesidades de agua de la planta durante el crecimiento, como fue explicado en la sección 3.2.3. En la Tabla 5.3. presentamos algunos valores del factor Kc para cultivos en la región del Chaco, según los cálculos del PRONAR.

Para este estudio hemos utilizado el programa CROPWAT de la FAO para calcular las necesidades de riego. Con este programa se calculó las necesidades de riego para varios cultivos y para las diferentes zonas de la región sobre la base de los datos climatológicos históricos. El programa (CROPWAT), las planillas en Excel, y los datos climáticos están incluidos en el CD anexo.

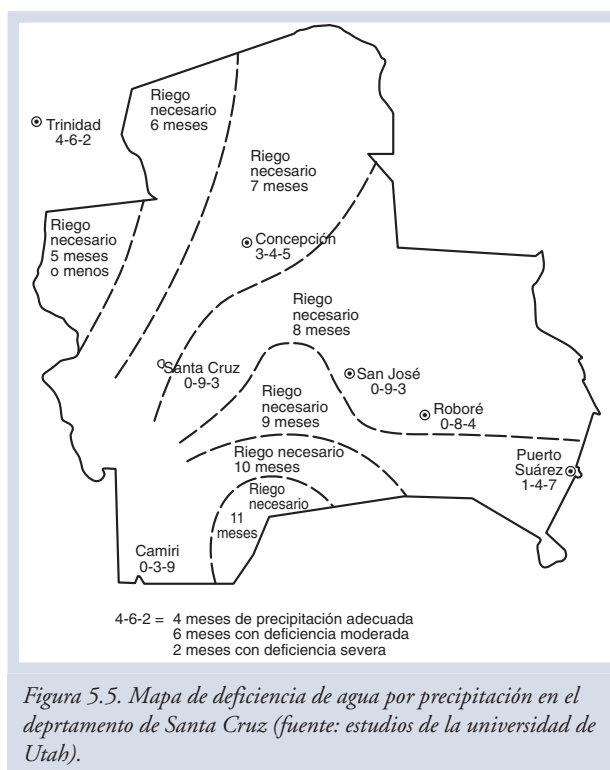


Figura 5.5. Mapa de deficiencia de agua por precipitación en el departamento de Santa Cruz (fuente: estudios de la universidad de Utah).

Tabla 5.3.
Resumen de algunos coeficientes de cultivo (Kc) por mes para la región del Chaco según los cálculos del PRONAR

Ciclo cultivos	Ciclo vegetal (días)	Coeficientes de cultivo (Kc) por mes												
Algodón	180	0,34	0,77	0,98	1,20	0,92	0,65							
Caña de azúcar	365	0,45	0,65	0,75	0,85	1,02	1,20	0,97	0,86	0,80	0,78	0,76	0,75	
Cebolla (cabeza)	150	0,43	0,74	1,05	0,92	0,80								
Cebolla (verde)	120	0,42	0,73	1,05	0,92									
Cítricos	365	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,80	0,80	0,75	0,75	0,80	0,80	0,80	
Fréjol (grano)	150	0,41	0,78	1,15	0,70	0,25								
Fréjol (verde)	120	0,45	0,72	1,00	0,90									
Frutilla	270	0,50	0,65	0,80	0,85	0,95	0,90	0,87	0,80	0,65				
Girasol	150	0,33	0,74	1,15	0,75	0,35								
Soya	120	0,30	0,45	0,77	1,10	0,45								
Trigo (invierno)	150	0,40	0,45	0,80	1,15	0,67	0,20							
Yuca	270	0,45	0,65	0,70	0,95	0,85	0,80	0,75	0,65	0,55				
Zanahoria	150	0,38	0,74	1,10	0,95	0,80								

5.3. FUENTES DE ENERGÍA PARA RIEGO AGRÍCOLA

La agricultura mecanizada y el riego extensivo requieren de fuentes de energía para bombas, motores, tractores y otros implementos agrícolas. Las fuentes de energía disponibles actualmente son electricidad, viento y combustibles (gasolina, diesel, gas natural y GLP).

La energía solar y las más innovadoras fuentes como células de hidrógeno todavía no son una alternativa viable, por su costo y por su carácter incipiente en Bolivia. Así que descartamos el uso extensivo de estas nuevas tecnologías para la agricultura, con la esperanza, sin embargo, de que algún día se vuelvan económicamente viables.

Por el momento nos concentramos en las fuentes de energía disponibles en el mercado boliviano y en la energía por viento.

5.3.1. COMBUSTIBLES Y ELECTRICIDAD

El uso de combustibles en la agricultura es intenso y es un factor económico importante para el rendimiento de la producción agrícola. El combustible principal utilizado en Santa Cruz es el diesel. En las figuras 5.6. y 5.7. mostramos los consumos anuales de diesel en el cultivo de soya y trigo, con datos compilados por ANAPO. El consumo promedio en la soya es de 70 litros/ha y en el trigo de 55 litros/ha.

El consumo de combustible por hectárea puede ser incrementado drásticamente con la implementación de sistemas de riego. El requerimiento energético de los sistemas de riego proviene del intenso uso de

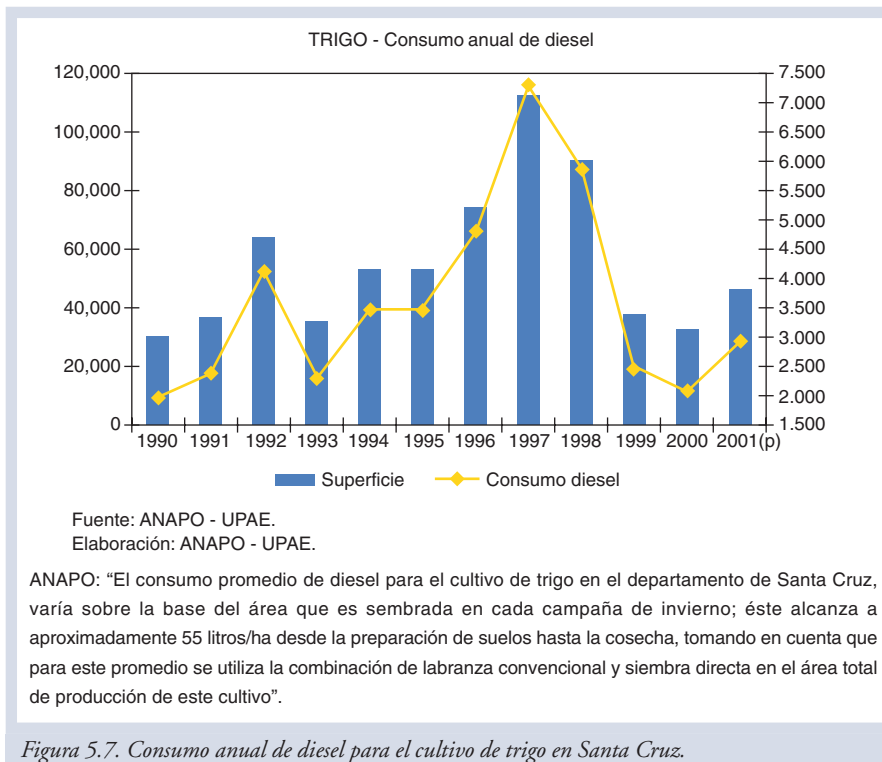
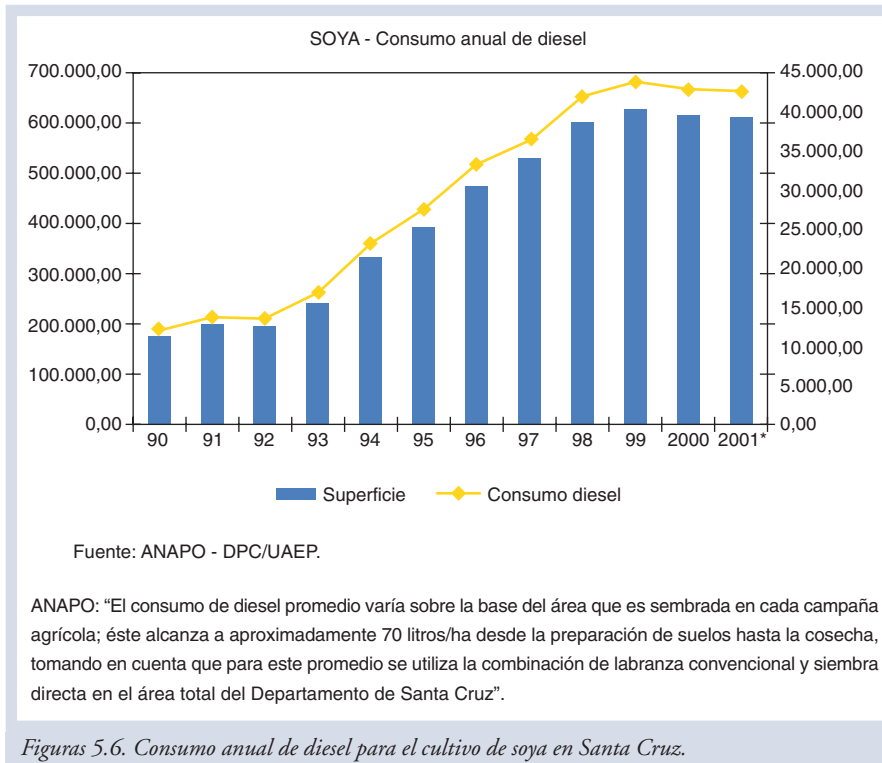
bombas para el traslado del agua. Los gastos energéticos de los sistemas de riego por aspersión, en situaciones en las que se bombea agua en cantidades que sobrepasan los 800 mm por año, pueden estar entre los 50 y 100 dólares por hectárea. Por este motivo es importante analizar posibles alternativas energéticas que alivien los costos del riego.

Actualmente en el mercado boliviano se suministra regularmente los siguientes combustibles:

- Diesel
- Gas natural comprimido
- Gasolina
- GLP (gas licuado de petróleo: propano y butano)

En la Tabla 5.4. presentamos los precios actuales de los diversos combustibles ofrecidos en el mercado boliviano. En esta lista incluimos precios de GLP subsidiado y sin subsidio. Los precios de la electricidad son variables según la región y la red de distribución, y no son presentados aquí ya que en las áreas rurales la red eléctrica no está disponible o sus precios son extremadamente altos y no competitivos.

El contenido energético de cada combustible se presenta en la Tabla 5.5., para poder hacer una comparación equitativa de precios. Aquí podemos apreciar que los costos de energía de gas natural comprimido y GLP con subsidio son los más bajos, y representan un ahorro de aproximadamente 40% respecto al costo de la gasolina o el diesel. Sin embargo, se debe tomar en cuenta la eficiencia de cada combustible cuando se usa en bombas de riego.



La eficiencia de los combustibles en el bombeo se puede apreciar en la Tabla 5.6. Los sistemas eléctricos de bombeo son los más eficientes; sin embargo, ellos requieren de una fuente permanente de electricidad, que en muchos de los casos es un motor a combustible. El diesel

es el combustible más eficiente para bombear agua (con una eficiencia promedio en pruebas de campo de entre 13 y 15%). El gas natural comprimido y el GLP presentan valores promedio de eficiencia, en pruebas de campo, de 9 a 13%, y la gasolina valores de entre 9 y 12%. En

Tabla 5.4.
Precios de combustibles en octubre de 2003

Combustible	Precio en Bolivianos	Dólares (1=7,75Bs)
Diesel	3,12 / L	0,40258 /L
Gas Natural	1,66 / m ³	0,21419 /m ³
Gasolina	3,31 / L	0,42710 /L
GLP-propano/butano (sin subsidio)	3,5/kg o 1,95/L	0,2516 /L
GLP-propano/butano (con subsidio)	2,1/kg o 1,17/L (aprox.)	0,15054 /L

Fuente: Superintendencia de Hidrocarburos, octubre 2003

términos reales, esto representaría un probable ahorro de 30 a 40% si se usa GLP con subsidio o gas natural comprimido, respecto al diesel o al GLP sin subsidio.

Económicamente, el uso de GLP subsidiado o de gas natural comprimido para el riego agrícola es más viable que el del diesel. Un ahorro de 30 a 40% puede significar la diferencia entre la viabilidad o la inviabilidad económica de los sistemas de riego.

Un aspecto que no puede ser ignorado es el de la contaminación ambiental. El diesel es el combustible que ocasiona más contaminación ambiental por emisiones, seguido sólo por la gasolina. Tanto el GLP como el gas natural pueden ser considerados combustibles ecológicos, porque no producen emisiones contaminantes en

proporciones significantes. El consumo de aceite también es menor si se utiliza GLP o gas natural comprimido. La contaminación del subsuelo, lo mismo. El diesel y la gasolina tienen el potencial de causar graves daños al agua subterránea cuando son derramados accidentalmente al suelo. El GLP es soluble en el agua y el gas natural se evapora.

Otro asunto a considerar es el almacenamiento y la distribución de los combustibles en las áreas rurales. La gasolina y el diesel requieren tanques para almacenarse sin presión, lo que exige un costo un poco menor al que en cambio requiere el gas natural o GLP para almacenarse en garrafas especiales que los contienen a presión. Sin embargo, en la mayoría de los casos la diferencia de pre-

Tabla 5.5.
Contenido representativo de energía de combustibles y electricidad

Combustible*	Contenido de energía	Costo en dólares por MWh (1.000 kWh)
Electricidad	3.600 J/kWh	-
Diesel	39.020 kJ/L	37,14
Gas natural comprimido	35.400-37,260 kJ/m ³	21,24 (media)
Gasolina	34.560 kJ/L	44,49
GLP-propano/butano (sin subsidio)	26.340 kJ/L o 12,8 kW/kg (46.080 kJ/kg)	35,28
GLP-propano/butano (con subsidio)	26.340 kJ/L o 12,8 kW/kg (46.080 kJ/kg)	21,17

*1kWh=3600kJ

Tabla 5.6.
Valores típicos de eficiencia para plantas de bombeo representativas para riego con valores expresados en porcentajes

Combustible	Eficiencia máxima (%)	Recomendada como aceptable (%)	Valores promedios de pruebas a campo (%)
Diesel	20-25	18	13-15
GLP-butano/propano*	18-24	15-18	9-13
Gasolina	18-23	14-16	9-12
Gas Natural*	18-24	15-18	9-13
Electricidad	72-77	65	45-55

*Se recomienda usar motores de alta compresión para mejorar la eficiencia total.

cios no es significativa. El sistema de distribución actual de estos combustibles es discutido en la siguiente sección.

5.3.2. EMPRESAS QUE TRABAJAN EN LA DISTRIBUCIÓN DE GAS

En Santa Cruz hay varias empresas que distribuyen gas natural y GLP para motores. Sin embargo, el sistema de distribución para las áreas rurales todavía es limitado. La distribución actual se hace por medio de garrafas, sin embargo, existe la iniciativa de hacerlo mediante camiones cisternas de distribución como muestra al Figura 5.8.

A continuación presentamos una lista corta de algunas empresas que trabajan con la distribución de gas y convierten motores de gasolina o diesel a gas natural o GLP en Santa Cruz:

FlamaGas: Trabaja con Condesa, una colonia menonita cercana a Cuatro Cañadas. Distribuye en cisternas. El gas se usa para generar electricidad y después para bombeo, etc.

GENEX y varios otros surtidores: Vende gas natural comprimido para vehículos.

SIATEC: Convierte motores de gasolina o diesel a gas natural o GLP.

REPSOL-GAS: Distribuye GLP en cisternas.

SerGas: Distribuye gas a domicilios y empresas.



Figura 5.8. Distribución y almacenamiento de GLP o gas natural comprimido para uso rural.

5.4. BOMBAS DE RIEGO

El componente crítico de cualquier sistema de irrigación es la bomba de riego. La selección de bombas es muy importante para disminuir costos e incrementar la eficiencia del trabajo. Aquí hacemos una breve descripción de las bombas para riego agrícola.

Las bombas comúnmente usadas para riego son las bombas centrífugas. Estas bombas funcionan por medio de uno o más rotores o impulsores que succionan y expelen el agua a alta presión. Hay varios tipos de bombas centrífugas y las más comunes para riego son presentadas en la Figura 5.9. Las bombas de succión normalmente son utilizadas para bombear agua superficial. Las bombas sumergibles y de turbina son utilizadas para bombear agua de pozos. En la Figura 5.10. mostramos un ejemplo de una bomba para pozos profundos.

Las bombas de succión o de turbina pueden funcionar con un motor a combustible (gasolina, diesel o gas). Sin embargo, las bombas sumergibles únicamente funcionan a electricidad. Esto significa que es necesario conectar un generador a un motor a combustible, o en su defecto una fuente directa de electricidad.

La captación de agua es importante para definir qué tipo de bomba utilizar. Hay varios sistemas para la captación de agua. Aquí presentamos una breve lista de los más comunes:

- Bombeo directo de agua superficial (un río o lago natural).
 - *Ventajas*: Este es el sistema más simple, ya que el agua es bombeada directamente del río, por lo que se puede utilizar bombas de succión de bajo costo. La disponibilidad del agua está únicamente limitada al caudal del río o lago.
 - *Desventajas*: El problema con este sistema son los sedimentos en el agua, que pueden perjudicar la mecánica de las bombas y los sistemas de riego. Su empleo excesivo puede causar disminución del caudal de los ríos, puede secar lagos o humedales y causar problemas ecológicos.
- Construcción de lagunas de almacenamiento de agua artificial mediante un canal de desvío del río.
 - *Ventajas*: Este método tiene la ventaja de crear una reserva de agua en la cual el sedimento se puede decantar, y entonces la calidad de agua mejora. Puede ser utilizado para fines no agrícolas, como ganadería y piscicultura.
 - *Desventajas*: La lámina de agua de la laguna de almacenamiento está expuesta al sol, lo que causa la pérdida de agua por evaporación. Los costos de creación de la laguna de

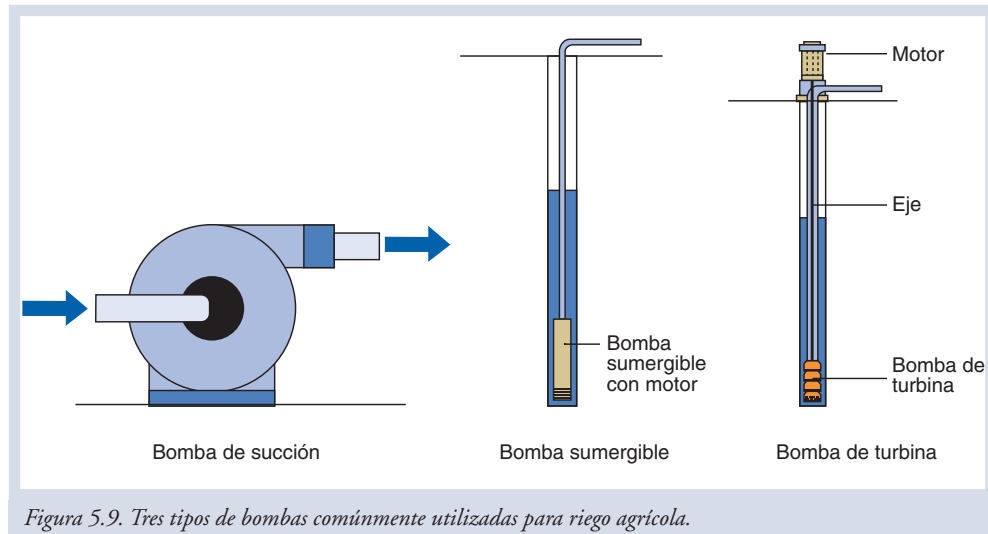


Figura 5.9. Tres tipos de bombas comúnmente utilizadas para riego agrícola.

almacenamiento y del desvío del río pueden ser altos. El procedimiento puede causar problemas en el cauce del río y crear problemas ambientales.

- Construcción de atajados de lluvia o pequeños riachuelos.
 - *Ventajas:* Sistema simple de acumulación de agua.
 - *Desventajas:* Poca acumulación de agua en climas muy secos, por lo que a veces no es posible usarla para el riego. Evaporación excesiva.
- Bombeo directo de pozos profundos.
 - *Ventajas:* Mayor eficiencia y menores pérdidas de agua, la cual va directamente al riego.
 - *Desventajas:* Un alto costo de perforación para obtener caudales grandes y un alto costo de uso de bombas sumergibles. Se debe cuidar la calidad del agua (salinidad). El bombeo excesivo puede disminuir el nivel del agua subterránea.
- Bombeo de pozos a una laguna de almacenamiento del agua o atajado.
 - *Ventajas:* Tiene las mismas ventajas de una laguna de almacenamiento. Permite una disponibilidad inmediata de volúmenes grandes de agua,

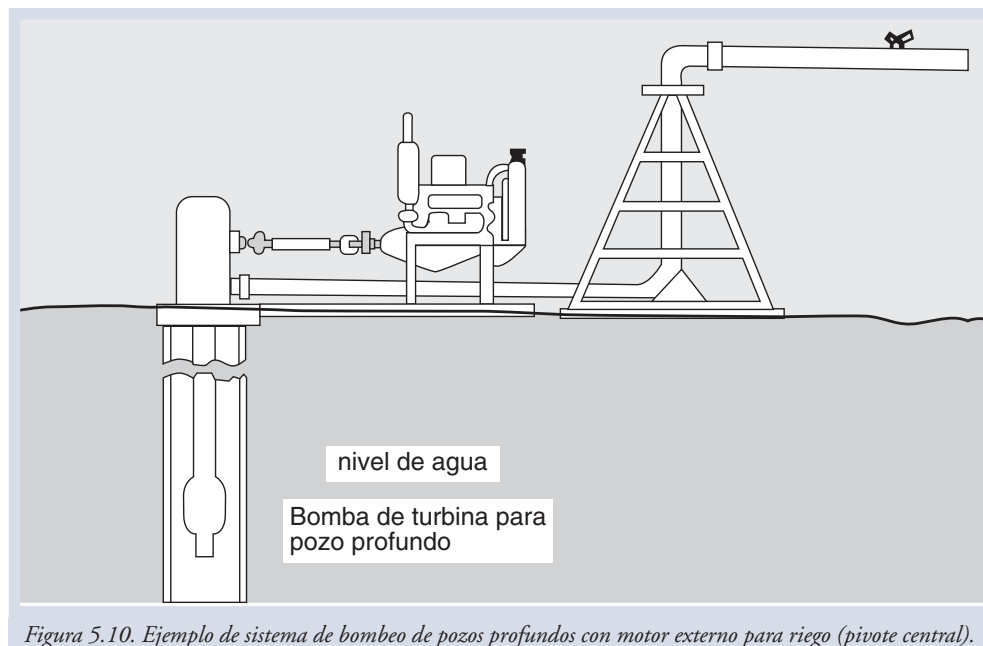


Figura 5.10. Ejemplo de sistema de bombeo de pozos profundos con motor externo para riego (pivote central).

lo que disminuye la dependencia del agricultor respecto al caudal de agua de los pozos.

- *Desventajas:* Elevados costos de bombeo para mantener la laguna llena con el agua de los pozos. Pérdidas de eficiencia por evaporación del agua. Necesidad de otra bomba para distribuir el agua a los cultivos.

5.4.1. FUENTES ENERGÉTICAS PARA BOMBAS

En los sistemas de captación con pozos profundos se usa bombas sumergibles o de turbinas. Como se mencionó anteriormente, estas bombas son eléctricas y por lo tanto necesitan de una fuente eléctrica o de un generador. Las bombas de succión son utilizadas con sistemas de captación directos o que usan lagunas de almacenamiento. Las bombas de succión y las bombas de turbinas funcionan directamente con combustibles como los mencionados anteriormente. Los combustibles más económicos son el GLP y el gas natural.

El GLP tiene varias ventajas sobre otros combustibles y se utiliza mundialmente para mover las bombas de irrigación en todo tipo de uso agrícola.

Ventajas ambientales:

- Las bombas a GLP pueden producir la misma cantidad de energía que las que funcionan a gasolina o diesel, pero con pocas emisiones.
- El GLP presenta riesgos mínimos para el ganado, el acuífero, el agua subterránea y el suelo, porque no es tóxico y es soluble en agua.

- El GLP no deja residuos peligrosos o tóxicos, como sí hacen los combustibles líquidos.

Ventajas operacionales:

- La velocidad de los motores de GLP (RPM) se puede ajustar para arriba o para abajo, dependiendo de necesidad de riego. Los motores eléctricos funcionan a una velocidad constante, a menos que estén equipados especialmente.
- Las piezas y el aceite del motor a GLP duran más que otros.
- El GLP se puede almacenar por períodos del tiempo extendidos, mientras que la gasolina o el diesel no duran mucho.

La mayoría de las bombas preparadas para funcionar a GLP son bombas centrífugas, de las cuales hay tres tipos básicos: (Tabla 5.7)

Bombas de succión. Es el tipo más común. Son instaladas (horizontal o verticalmente) en un cojín sobre el nivel del agua.

Bombas para pozos profundos tipo turbina. Se montan debajo del agua. Ésta es bombeada por un eje movido por un motor. Las bombas de turbina se utilizan sobre todo cuando se requiere grandes caudales de agua.

Bombas de propulsor. Se utilizan en situaciones en las que no se requiere levantar el agua, pero sí grandes volúmenes. También hay bombas con varias etapas para levantar el agua de pozos profundos.

Tabla 5.7.
Comparación de bombas movidas por GLP

Tipo de bomba	Ventajas	Desventajas
Bombas de succión	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia alta en una gran cantidad de condiciones de operación. • Simples, económicas y fáciles de instalar 	<ul style="list-style-type: none"> • La succión es limitada (la fuente de agua tiene que estar máximo 20 metros por debajo).
Bombas tipo turbina para pozos profundos	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptadas específicamente para pozos. • Eficientes para grandes caudales de agua. • No es necesario primarlas. • Pueden ser usadas con niveles fluctuantes de agua. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tienen mayor costo respecto a las bombas de succión. • Dificiles de instalar, inspeccionar y reparar • Su reparación y mantenimiento son más caros que los de las bombas de succión. • Necesitan ajustes periódicos de los impulsores.
Bombas de propulsor	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción simple • Transportables • Bombeo eficiente de grandes caudales 	<ul style="list-style-type: none"> • No sirven para succionar. • La instalación bajo el agua es un requisito crítico.

Tabla 5.8.
Caudales de agua necesarios (litros por segundo por hectárea)
para sistemas de riego con eficiencia de 80%

Necesidad de riego (máxima diaria) (mm/día)	Caudales de agua en l/s/ha por horas de funcionamiento diario			
	10 hr	15 hr	20 hr	24 hr
3	1,04	0,69	0,52	0,43
4	1,39	0,93	0,69	0,58
5	1,74	1,16	0,87	0,72
6	2,08	1,39	1,04	0,87
7	2,43	1,62	1,22	1,01
8	2,78	1,85	1,39	1,16

Tabla 5.9.
Caudales de agua necesarios (litros por segundo por hectárea)
para sistemas de riego con eficiencia de 60%

Necesidad de riego (máxima diaria) (mm/día)	Caudales de agua en l/s/ha por horas de funcionamiento diario			
	10 hr	15 hr	20 hr	24 hr
3	1,39	0,93	0,69	0,58
4	1,85	1,23	0,93	0,77
5	2,31	1,54	1,16	0,96
6	2,78	1,85	1,39	1,16
7	3,24	2,16	1,62	1,35
8	3,70	2,47	1,85	1,54

5.4.2. DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA DE LA BOMBA

Para poder determinar la potencia de la bomba que debe ser usada es necesario calcular los caudales máximos de agua necesarios para cubrir las demandas de los cultivos. En la Tabla 5.8. mostramos los caudales de agua necesarios (en litros por segundo por hectárea) para sistemas de riego con una eficiencia del 80%. En la Tabla 5.9 presentamos la misma información, pero para sistemas de riego con una eficiencia del 60%.

Por ejemplo, si el déficit máximo de agua es de 5 mm por día y se piensa poner en funcionamiento un sistema de riego con pivote central (con una eficiencia del 80%), por 20 horas al día, para irrigar una área de 50 ha, se necesitaría un caudal de 43.5 l/s y una bomba que pudiese atender esta demanda.

El mismo ejemplo, pero para un sistema de riego con eficiencia del 60% (como la del riego por gravedad) necesitaría un caudal de 58 l/s.

El caudal máximo necesario, el sistema de riego que se empleará, la altura a la cual es necesario bombear el agua, y la pérdida de energía por la fricción de la tubería y el largo del entubamiento son los factores que definen

qué potencia (HP) de bomba debe adquirirse. Esto se puede calcular mediante una simple ecuación como la siguiente:

$$P = (K * Q * H) / (E_p * E_t * E_m)$$

P = potencia de bomba necesaria en kW

Q = caudal necesario (m³/s)

H = cabezal dinámico de agua (m) + cabezal de presión necesaria (m)

K = constante para conversión de factores = 9.81

E_p = eficiencia de bomba (los valores normalmente varían de 65 a 80%)

E_t = eficiencia de la transmisión mecánica
 Transmisión directa aprox. 100%
 Transmisión con engranajes aprox. 95%
 Transmisión con correas tipo V aprox. 90%

Transmisión con correas planas aprox. 80%

E_m = eficiencia de motor (eléctrico o de combustible)

Motores eléctricos aprox. 90%

Motores a diesel aprox. 80%

Motores enfriados a agua aprox. 70%

Motores enfriados a aire aprox. 60%

Normalmente los motores se venden o comercializan con potencia en HP (*horse power*). La conversión es la siguiente: 1 HP = 0.745699872 kW.

Ejemplo: Bombeo de pozo profundo de 300 metros donde,

$H = 40 \text{ m}$ (cabezal dinámico de 30 m y un cabezal de presión de 10 m)

$Q = 100 \text{ l/s}$ o $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$

$K = 9.81$

$E_p = 70 \%$, $E_t = 95\%$, $E_m = 80\%$

$P = 74 \text{ kW}$ (O sea se requiere un motor de aprox. 100 HP).

Hay una variación enorme de tipos y precios de bombas. Se recomienda al lector hacer un buen análisis de las necesidades reales antes de decidir que bomba comprará, porque esta decisión tiene un gran efecto en los costos energéticos. Un ejemplo de variación de los precios de las bombas respecto a la altura de bombeo se puede apreciar en la Tabla 5.10. para una bomba sumergible de 10 kW (13.4 HP).

Tabla 5.10.
Ejemplos de precios de bombas sumergibles eléctricas (Bergely)

Potencia de bomba	Amplitud de altura de bombeo (pies)	Modelo	Precio (\$us)
10 kW	0-40	135S50-2	2.120
	40-80	135S50-3	2.310
	80-110	80S50-5	2.280
	110-130	75S50-8	2.370
	130-160	40S50-12	2.350
	160-240	40S50-15	2.500
	240-380	25S50-26	2.160
	380-500	16S50-38	2.300
	500-620	10S50-48D	3.160
	620-700	10S50-58D	4.480

5.4.3. SISTEMA DE BOMBEO POR VIENTO

El bombeo por viento tiene dos ventajas obvias: 1) elimina los costos de los combustibles, ya que usa el viento como fuente de energía, y 2) no produce contaminación ambiental. Las desventajas son un alto costo inicial y la existencia de un límite en los caudales de agua que pueden ser bombeados. Hay dos sistemas generales de bombeo por viento. El primero es mecánico y el segundo eléctrico.

Sistema mecánico de bombeo por viento

En el sistema mecánico, el viento es cosechado por un molino de viento, el cual lo transforma en energía mecánica para bombear agua. Estos sistemas generalmente son utilizados para bombear agua de norias o pozos con agua cercana a la superficie, y generan caudales muy limitados. La potencia de estos sistemas de bombeo está directamente relacionada con la velocidad del viento. Normalmente se utiliza un tanque o laguna de almacenamiento para conservar la producción de agua hasta que sea necesaria utilizarla, como muestra la Figura 5.11.

Estos sistemas tienen la ventaja de que pueden ser construidos localmente a un costo relativamente bajo. En general funcionan mediante un rotor con varias alas como se ve en la Figura 5.11. El rotor, por medio de un mecanismo de engranajes, se conecta a un eje que va directamente a la bomba. Los sistemas disponibles comercialmente tienen la capacidad de bombear agua de una profundidad de 30 m (a un máximo de 80 m), a una velocidad de viento media de 8-10 km/hr. El caudal de agua bombeado con vientos ideales puede variar de 1.000 a 1.200 litros por hora (0,28 a 0,33 l/s). Esta cantidad podría ser usada para regar aproximadamente 0,5 ó 1 hectárea. Los precios de estos sistemas pueden variar según el tamaño de los rotores, las bombas, la altura de la torre y otros factores. En general se puede construir estos sistemas localmente en Santa Cruz, con precios de 1.500 a 10.000 dólares.



Figura 5.11. Sistemas mecánicos de bombeo por viento.

Sistema eléctrico de bombeo por viento

Los sistemas eléctricos son una adaptación de los sistemas mecánicos, en los que los rotores del molino de viento (turbina de viento) están directamente ligados a un generador de electricidad (ver Figura 5.12.) La elec-

tricidad generada es usada para poner en funcionamiento una bomba eléctrica. Este sistema es más eficiente, ya que hay menos pérdida de energía respecto al sistema mecánico. Otra ventaja es que se puede sumar la energía generada por varias turbinas de viento para el uso de bombas de mayor potencia. Además la electricidad generada puede ser empleada en la propiedad agrícola para otros fines. El factor limitante es el costo de las turbinas de viento.

Los requisitos de energía eléctrica para las bombas centrífugas estándares se tienen que emparejar con la salida eléctrica de las turbinas del viento. Esto permite que una bomba y un motor correctamente clasificados funcionen muy eficientemente a partir de una amplia gama de velocidades de viento. Una vez hecho esto, hay varias otras ventajas que los sistemas eléctrico-eólicos de bombeo ofrecen: 1) la turbina del viento se puede colocar a cierta distancia del pozo (perforación) o de otra fuente de agua; 2) a diferencia de los molinos de viento mecánicos, estos sistemas no requieren ningún mantenimiento, y 3) estos sistemas son capaces de bombear volúmenes e agua suficientes para el abastecimiento de una comunidad o para el riego en pequeña escala. Son mucho menos caros de instalar que los sistemas solares y su funcionamiento también es menos costoso respecto al de los sistemas con bombas a diesel (por el combustible y el aceite), pero requieren de una inversión inicial grande.

Uno de los fabricantes internacionales más prominentes de sistemas a viento es Bergely Windpower. Más detalles y precios pueden ser encontrados en www.bergely.com. También en Santa Cruz se puede encontrar a algunos distribuidores e importadores de estos productos.



Figura 5.12. Sistema eléctrico de bombeo por viento.

El precio aproximado de un sistema de 10 kW, sin incluir el precio de la bomba, es de 20.000 dólares americanos, lo que representa una fuerte inversión inicial, pero hay que tomar en cuenta que los costos energéticos y de mantenimiento de estos sistemas son mínimos.

5.5. SISTEMAS DE RIEGO

El propósito de esta sección es mostrar al lector los posibles sistemas de riego que pueden ser utilizados en el área de estudio. Los sistemas de riego pueden ser clasificados en tres tipos generales:

1. *Riego por aspersión*: sistemas mecanizados como pivote central, laterales, móviles, cañón fijo.
2. *Riego por superficie (gravedad en surcos)*: sistemas de inundación de surcos.
3. *Micro-riego*: sistemas de irrigación directa por tubos permeables, goteo y micro aspersión.

Las ventajas y desventajas de cada uno de estos sistemas son discutidas a continuación.

5.5.1. SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN

Los sistemas de riego por aspersión son los sistemas más utilizados para el riego extensivo en la agricultura de alta producción. Las variedades de estos sistemas son: pivote central, avance frontal, pistolas de riego y varios otros que utilizan bombas para transportar agua a presión.

Las ventajas generales de los sistemas de riego por aspersión son:

- Con un diseño correcto se puede aplicar agua uniforme y eficientemente.
- La cantidad y el índice del uso de agua pueden ser controlados fácilmente.
- El sistema es de fácil adaptación a la mayoría de los suelos y topografías.
- El uso frecuente de estos sistemas para necesidades específicas es posible.
- Los costos de mano de obra pueden ser bajos, si el sistema es automatizado.
- Los fertilizantes (y otros productos químicos) se pueden aplicar junto con el riego.

Algunas desventajas son:

- Los costos iniciales son grandes.
- Los costos energéticos son relativamente importantes.

- El viento afecta la distribución del agua (dependiendo del sistema utilizado).
- Las pérdidas por evaporación pueden ser altas (dependiendo del sistema utilizado).
- Los requerimientos de mano de obra para algunos sistemas pueden ser altos si no son automatizados.
- Algunos suelos pueden dificultar el funcionamiento de algunos sistemas automáticos.
- Puede provocarse la enfermedad o lesión de la planta por aplicaciones excesivas, sales en el agua o gotas grandes.
- Los costos de mantenimiento son relativamente altos si se los compara con los de los sistemas superficiales.

Sistemas de pivote central

Estos sistemas de riego son muy adaptables a cualquier condición agrícola, lo que ha resultado en un significativo crecimiento de su uso mundial. Las razones principales para ello son:

- 1) Tienen un alto potencial para aplicar agua eficiente y uniformemente.
- 2) Su alto grado de automatización reduce la necesidad de mano de obra y facilita el manejo del sistema.
- 3) Pueden ser usados para cubrir grandes áreas agrícolas.
- 4) Ofrecen la posibilidad de aplicar nutrientes solubles en agua, para satisfacer las necesidades de una abundante gama de suelos, cultivos y condiciones topográficas.

La irrigación depende de la bomba, los emisores y el diseño general del sistema de pivote central. Por ejem-

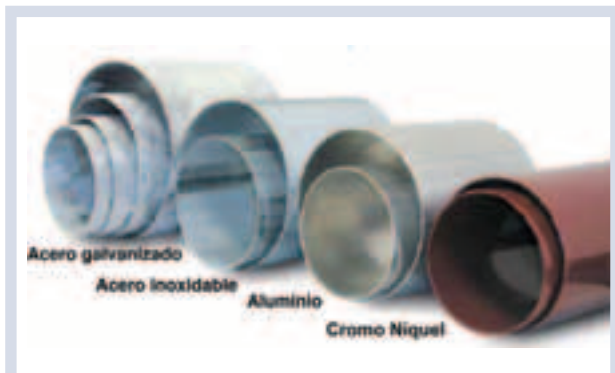


Figura 5.13. Materiales utilizados en la construcción de sistema de pivote central.



Figura 5.14. Sistemas de riego por pivote central.

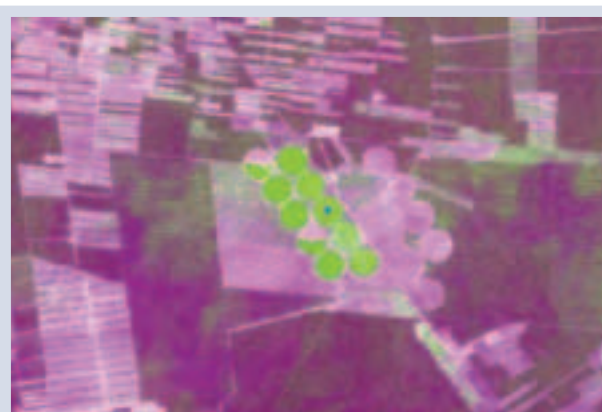


Figura 5.15. Imagen de satélite mostrando detalle de sistema de riego con pivote central en tierras bajas este de Santa Cruz.

plo, con una bomba que tiene capacidad para bombear 56 litros por segundo podemos distribuir 25 mm de agua para 65 hectáreas en aproximadamente 100 horas. Los sistemas de pivote central pueden ser construidos con varios tipos de materiales, como el acero galvanizado, el acero inoxidable, el aluminio y el cromo-níquel (Figura 5.13.) Algunos ejemplos de sistemas de pivote central se pueden apreciar en la Figura 5.14. En la Figura 5.15 mostramos una imagen de satélite de las tierras bajas del este de Santa Cruz, donde se utiliza el sistema de pivote central para riego de 10 parcelas de 50 a 65 ha cada una.

Sistemas de avance frontal

Los sistemas de avance frontal son similares a los de pivote central en su eficiencia y distribución de agua, pero varían en el hecho de que pueden ser utilizados para el riego de áreas rectangulares, en lugar de las áreas circulares que son las más adecuadas para el anterior sistema. Esto ofrece ventajas, especialmente en Santa Cruz, ya que la gran mayoría de los cultivos son plantados en



(a)

(b)

Figura 5.16. Sistema de avance frontal con canales con (a) bombeo con combustible y (b) bombeo eléctrico.



Figura 5.17. Sistema de avance frontal con mangueras.

largas fajas rectangulares (ver la imagen satelital de los cultivos de la Figura 5.15.) Sin embargo, el abastecimiento de agua es un poco más complicado, pues se requiere suministro a lo largo del área de cultivo. Para ello normalmente se usa un canal (Figura 5.16.) o una manguera flexible (Figura 5.17.) Esto significa un costo adicional respecto al del sistema de pivote central, pero en algunos casos puede ser conveniente.

Sistemas con mangueras flexibles y otros



Figura 5.18. Sistemas de mangueras y cañones de agua.

Existen varios otros sistemas de riego por aspersión que pueden ser utilizados en la región de Santa Cruz. En la Figura 5.18. ilustramos los ejemplos de mangueras flexibles y cañones de agua, como algunas de las alternativas viables. Los costos fijos de estos sistemas suelen ser bajos; sin embargo, requieren de más mano de obra.

5.5.2. SISTEMAS DE RIEGO POR SUPERFICIE

Los sistemas de riego por superficie (comúnmente llamados por gravedad o por surcos) son los sistemas de riego más antiguos de la historia de la agricultura. Estos sistemas incluyen el desvío de ríos por medio de canales, el riego por entre los surcos mediante el bombeo de agua, y otros procedimientos que logran una inundación superficial para satisfacer las necesidades de agua de los cultivos.

Ventajas de los sistemas de riego por superficie:

- Bajos costos de capital inicial, comparados con los de los otros métodos.
- Costos energéticos bajos.
- Adaptabilidad a la mayoría de los suelos y las cosechas.
- Poco o nada de equipo mecánico.
- Costos de mantenimiento bajos.
- No moja el follaje de la planta o la fruta, minimizando los problemas de hongos.
- Permite controlar la salinidad del suelo.

Algunas desventajas importantes de la irrigación superficial:

- La necesidad de mayores cantidades de agua debido a un rendimiento típicamente bajo y a la tendencia a cubrir un campo tan rápidamente como sea factible.

- La necesidad de una intensa preparación de la tierra, para uniformar los campos. En general, los campos con pendientes de más de 3% no recomendables para este sistema
- No es un sistema práctico para suelos con altas tasas de infiltración, debido a la dificultad de obtener una distribución uniforme del agua.
- Los requerimientos de mano de obra son significativamente más altos que los de los otros sistemas.
- La eficiencia de uso del agua es baja comparada con la de los otros sistemas (puede mejorar con un buen sistema de manejo y ejecución).
- Los cultivos que son intolerantes a la falta de aire en las raíces pueden sufrir, especialmente en suelos de textura fina.
- La erosión del suelo puede ser un problema significativo.

Muchos de los sistemas actualmente utilizados en la zona del río Parapetí emplean el riego superficial. Podemos apreciar ejemplos en la Figura 5.19., que muestra el canal de desvío, y en la Figura 5.20., que se refiere a las compuertas de riego. Para comparación, en la Figura 5.21. mostramos un sistema de riego superficial que usa mangueras y bombas, y que también podría ser utilizado en la zona del río Parapetí.

Una de las más modernas técnicas de riego superficial es el que emplea un flujo discontinuo, el cual minimiza pérdidas de agua y obtiene una distribución uniforme del agua.

El sistema de riego por caudal discontinuo es una técnica desarrollada en los EE UU para el control del agua de riego. Su invención se debió a la necesidad del



Figura 5.20. Canal de riego con compuerta repartidora.

gobierno norteamericano de proveer a los agricultores de este país de un medio económico y eficaz que permita el ahorro del agua y su manejo en suelos salinos. Fue entonces (principios de la década del 80) que las oficinas de agua, en conjunto con varias universidades, perfeccionaron esta metodología conocida en inglés como Surge Flow. Estos sistemas se pueden usar en pendientes de 0,1 a 2%.

Este sistema requiere de una bomba para sacar agua de una fuente como un río, lago o pozo, pero la presión requerida para alimentar el equipo es mínima. Un valor típico de la presión requerida es 0.4 kg/cm², frente a los 3 y hasta 8 kg/cm² necesarios para un equipo presurizado. Esta diferencia de presión marca un significativo ahorro en combustible, lo que puede significar una mayor inversión en sistemas más grandes de riego. El sistema también tiene la capacidad de utilizar agua sucia o turbia, lo que hace innecesarias las grandes plantas de filtración (éste puede ser un factor decisivo).

Las medidas de tubería de este sistema son 6", 8", 10" y 12", lo que permite trabajar con caudales de entre



Figura 5.19. Desvío del Río Grande para riego superficial.



Figura 5.21. Riego superficial por surcos utilizando mangueras y bomba.

60 y 520 m³/h. La Figura 5.22. muestra estos sistemas en varios tipos de campos agrícolas.

El controlador del sistema de caudal discontinuo permite la automatización del riego. De esta manera, el productor podrá regar durante las 24 horas del día con una asistencia mínima de mano de obra.



Figura 5.22. Riego por caudal discontinuo (fuente: www.pyrargentina.com.ar).

5.5.3. SISTEMAS DE MICRO RIEGO

Son sistemas de riego que permiten distribuir el agua en cantidades precisas y directamente a cada planta individual, para minimizar el uso de agua y maximizar el crecimiento óptimo del cultivo. Estos sistemas usan mangueras con emisores individuales o mangueras (planas o flexibles) con micro-poros que son instaladas junto a los



Figura 5.23. Sistemas de micro-riego extensivos.

cultivos, como muestra la Figura 5.23. Los componentes típicos de los sistemas de micro-riego se muestran en la Figura 5.24. Los emisores comerciales para micro-riego son normalmente diseñados para emitir de 2 a 4 litros de agua por hora. La distribución ideal se determina por la humedad del suelo y el agua disponible. En el mercado internacional existe una variedad de productos y diseños para cada situación agrícola individual. Como ejemplo, en la Figura 5.25. mostramos algunas de las variedades de mangueras perforadas con micro-poros que se utilizan en riegos extensivos.

Algunas ventajas de los sistemas de micro-riego:

- Son altamente adaptables a diferentes suelos y condiciones topográficas, incluso allí donde otros métodos pueden tener problemas.

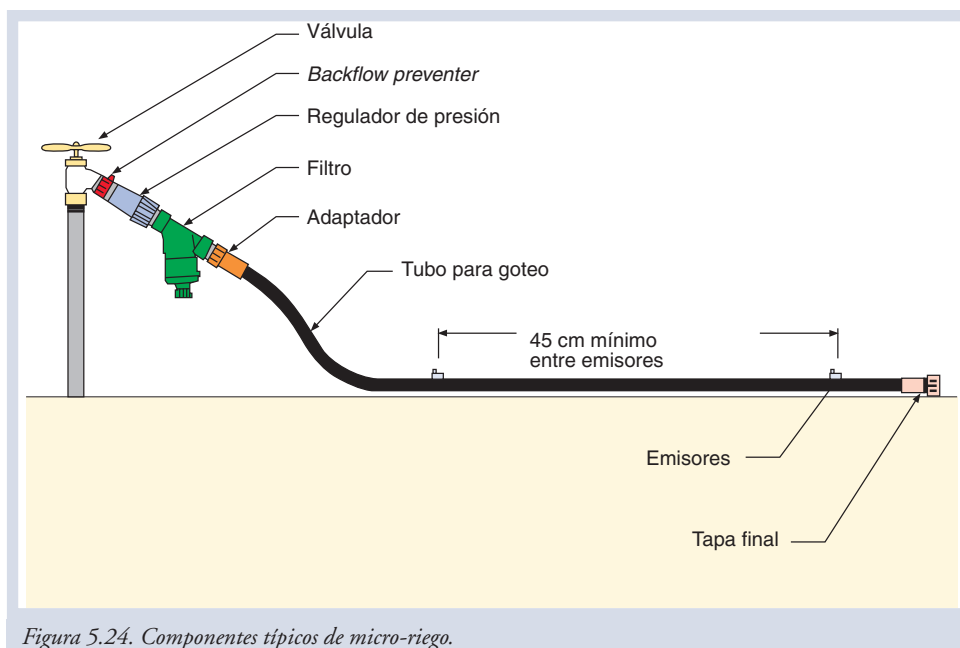


Figura 5.24. Componentes típicos de micro-riego.



Figura 5.25. Diferentes tipos de mangueras con micro-poros.

- Tienen una alta eficiencia y uniformidad (si están diseñados correctamente).
- Poseen necesidades energéticas bajas.
- Pueden ser utilizados con pequeños caudales de agua.
- El uso (cantidad, tarifa y localización) se controla fácilmente.
- Pueden ser empleados de forma frecuente.
- No mojan enteramente la superficie del suelo, lo que permite que las operaciones agrícolas sigan adelante simultáneamente; también reduce las pérdidas por evaporación y el crecimiento de hierbas malas en las áreas secas.
- Los fertilizantes (y otros productos químicos) se pueden aplicar con el riego.
- Permiten un mejor desenvolvimiento de las plantas jóvenes.
- No mojan la fruta y el follaje, evitando así enfermedades y lesiones de la planta.
- Una vez instalados, permiten que los costos de mano de obra sean bajos.

Desventajas de los sistemas de micro-riego:

- Los emisores y los orificios son susceptibles de taparse; abastecimiento de agua puede requerir de filtración y tratamiento para quitar sedimento, bacterias, algas y otras partículas.

- Los requisitos de manejo y mantenimiento son altos; los sistemas se pueden automatizar fácilmente pero requieren chequeos rutinarios.
- Las hierbas malas pueden proliferar fácilmente en las áreas mojadas.
- Los costos iniciales son altos. Si son requeridos, los costos de filtración aumentan los costos totales del sistema dramáticamente.
- Los costos de mantenimiento pueden ser altos.
- Los daños por roedores y otros daños mecánicos a la tubería plástica pueden ocurrir fácilmente.

El diseño inicial de los sistemas de riego es muy importante en general, y es especialmente crítico para los sistemas de micro-riego. La inversión inicial requerida para este tipo de sistema es muy alta y por lo tanto se tiene que evitar los errores de partida. Por ejemplo, es muy importante tomar en cuenta el tipo de suelo y la calidad del agua que se utilizará. En la Figura 5.26. podemos apreciar la importancia del tipo de suelo en la aplicación de agua por mangueras de micro-riego. Un diseño erróneo puede limitar el crecimiento de las raíces por una mala distribución del agua en el subsuelo.

De la misma forma, la ubicación y el tamaño de las mangueras de micro-riego son importantes para el manejo de las sales del suelo o para la presencia de agua en la zona de las raíces, como muestra la Figura 5.27. Aunque el micro-

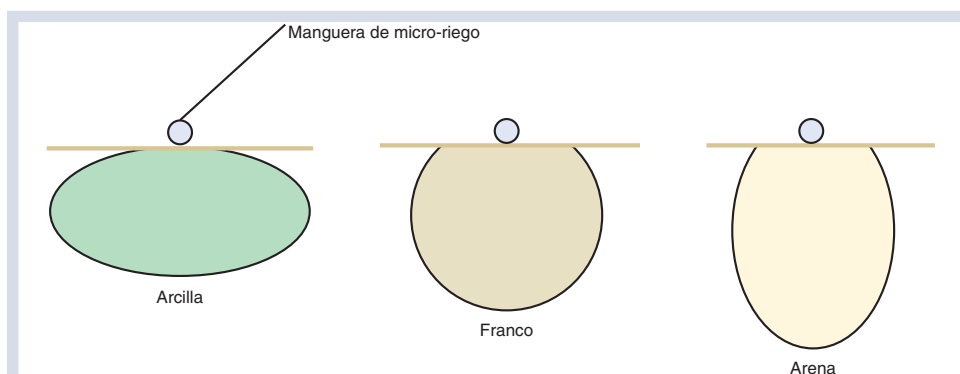


Figura 5.26. Perímetro de aplicación de agua por mangueras de micro-riego con micro-poros con respecto a diferentes tipos de suelos.

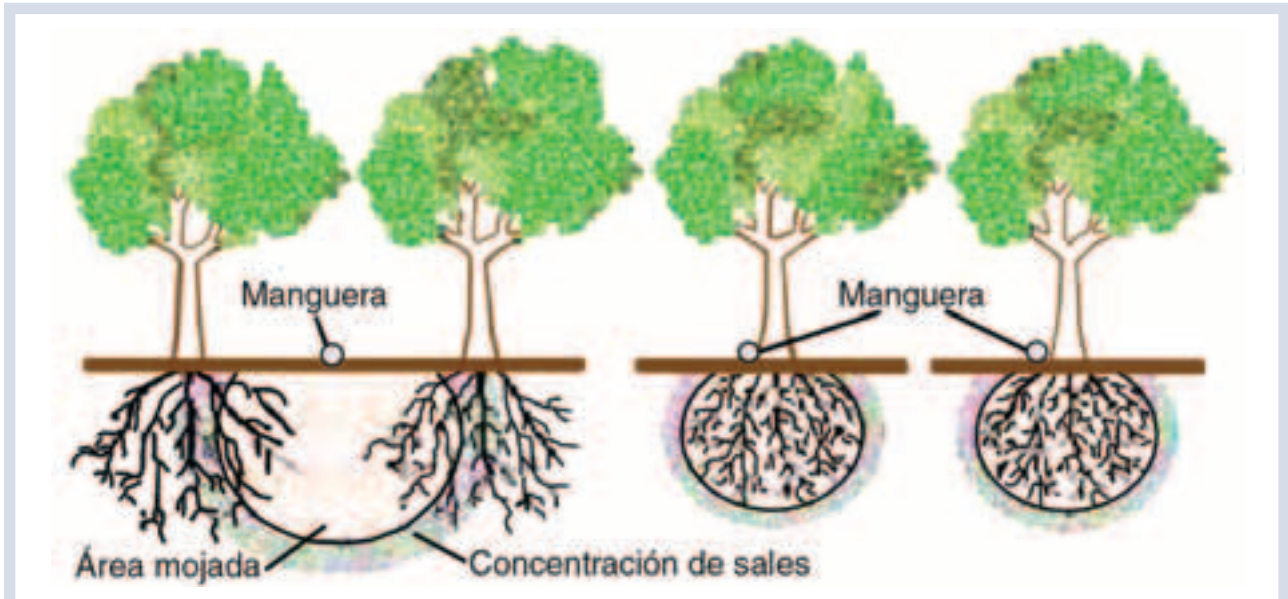


Figura 5.27. Localización de emisores de micro-riego para la eliminación de sales del suelo o agua de la zona de raíces de cultivo.

riego se puede utilizar para la eliminación de sales perjudiciales para el desenvolvimiento de las raíces, es importante diseñar el sistema correctamente para tal propósito.

5.5.4. EFICIENCIA Y VIDA ÚTIL DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

Uno de los factores que es importante tomar en cuenta para escoger un sistema de riego es la eficiencia de cada uno de ellos en la utilización del agua, y sus pérdidas por percolación profunda. En la Tabla 5.11, pre-

sentamos una comparación de la eficiencia en la distribución de agua de varios sistemas de riego para suelos franco-arenosos, los cuales son representativos de nuestra área de estudio. En esta tabla también podemos apreciar el porcentaje del agua que eventualmente se pierde por percolación profunda.

En la Tabla 5.12, presentamos una estimación de la vida útil de los varios componentes de los sistemas de riego que sirven para determinar los costos del riego a largo plazo.

Tabla 5.11.
Eficiencia de los sistemas de riego para suelos franco-arenosos

Método		Eficiencia de aplicación		Porcentaje de aplicación que resulta en percolación profunda	
		amplitud	media	amplitud	media
Superficie	Surco	35 – 60	45	10-50	25
	Surco con nivelación de tierra	50 - 65	60	10-40	15
	Surco (caudal discontinuo)	75-80	75	10-20	15
	Surco con re-uso de agua	75-90	85	10-20	15
Aspersión	Movido a mano	60 - 70	65	20 - 30	25
	Movido automático	60 - 70	65	20 - 30	25
	Pivote central/lateral	60 - 85	75	10 - 30	10
	Sistema de precisión	80 - 95	90	2 - 10	2
	LEPA	85 - 98	90	2 - 10	5
	Pistola movable	55 - 70	60	20 - 35	20
Micro-riego	Fijo	60 - 80	70	10 - 30	20
	Goteo	80 - 98	90	2 - 20	5
	Micro-aspersión	80 - 90	85	2 -15	8

Fuentes: Irrigation Technologies Comparison, Robert G. Evans, Supervisory Agricultural Engineer – USDA-ARS-NPARRL, Sidney, MT 59270

Tabla 5.12.
Estimativa de vida útil (años) de varios componentes para riego.

Componente	Horas de uso anual			
	500	1000	2000	3000
Pozo	15	15	15	15
Bomba para pozo profundo	15	15	15	10
Motor diesel	15	15	15	12
Motor propano o gas natural	15	15	15	12
Motor eléctrico	15	15	15	12
Laterales de aspersión y líneas principales	10	10	8	5

5.5.5. COSTOS DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

Los costos iniciales de inversión varían considerablemente de sistema a sistema. La selección del sistema influirá en la cantidad de agua utilizada, en la energía requerida, en la mano de obra y en la preparación de la tierra. Consecuentemente, afectará el costo final del sistema. Para considerar la economía de un sistema de riego se tiene que tomar en cuenta el balance entre los costos iniciales, de mano de obra, de agua, de energía y de tierra.

En la Tabla 5.13. mostramos información económica sobre el costo de diferentes sistemas de riego en el mercado de EE UU. Los valores, aunque pueden variar aquí en Bolivia, son comparativamente representativos e incluyen una diferenciación de suficiente amplitud

entre los costos mínimos y los máximos como para ser útil en un análisis preliminar. Las primeras columnas (mínimo y máximo) muestran, en dólares, los costos fijos por hectárea para cada sistema de riego. O sea, lo que se tiene que pagar para comprar el material y para la construcción del sistema de riego. No incluye el costo de la tierra, de su preparación, ni los costos relacionados a la fuente de agua. Las últimas columnas (mínimo y máximo) representan los costos anuales por hectárea del sistema de riego. O sea, el costo de la mano de obra, la amortización del sistema de riego y el costo de energía (para presurizar el sistema si fuera necesario). No incluyen el costo del agua, impuestos, intereses o la amortización del sistema de agua (bomba, pozo, sistema de distribución).

Tabla 5.13.
Costos de inversión en sistemas de riego promedios en EE.UU

Método		Costo de inversión fijos en dólares por hectárea*		Costos anuales en dólares por hectárea**	
		mínimo	máximo	mínimo	máximo
Superficie	Surco	500	1.000	250	450
	Surco con nivelación de tierra	600	1.500	250	450
	Surco (caudal discontinuo)	750	1.600	300	500
	Surco con re-uso de agua	750	1.500	300	600
Aspersión	Movido a mano	875	2.000	375	600
	Movido automático	875	1.850	225	500
	Pívot central/lateral	1.000	2.000	375	1.100
	Sistema de precisión	1.250	2.500	450	1.200
	LEPA***	1.250	2.500	450	1.100
	Pistola movable	1.000	2.000	250	1.250
	Fijo	1.850	3.700	250	1.000
Micro-riego	Goteo	1.850	3.700	500	1.000
	Micro-aspersión	1.900	4.500	500	1.000

*El costo de inversión incluye el material y la construcción del sistema de riego, pero no el costo de la tierra, de su preparación, ni costos relacionados a la fuente de agua.

**Los costos anuales incluyen la mano de obra, la amortización del sistema de riego y el costo de la energía (para presurizar el sistema si necesario), pero no el costo del agua, impuestos, intereses o la amortización de sistema de agua (bomba, pozo, sistema de distribución). Los costos son para equipos nuevos que usan agua superficial.

Los costos son para equipos nuevos que usan agua superficial. Un sistema con pozos representaría un costo adicional por la construcción del pozo, la adquisición de bombas, etc.

Aunque la fuente inicial de los datos presentados en la Tabla 5.13. son de los EE UU, los datos de equipos de aspersión y micro-riego son comparables con los que se encuentran en América Latina (Brasil y Argentina) y que podemos esperar aquí en Bolivia. En el Anexo incluimos una lista extensa de fabricantes y distribuidores de sistemas de riego en EE UU, América Latina y Europa. Se recomienda que el lector use los recursos de la web para satisfacer su curiosidad y verificar los precios más actuales de los sistemas de aspersión y micro-riego.

La mano de obra para la construcción de sistemas de riego de superficie puede ser más económica aquí en Bolivia; sin embargo, los costos de diseño técnico, materiales y por la (falta de) eficiencia de la construcción pueden ser los mismos o hasta más altos. Los costos anuales o variables pueden ser minimizados un poco con mano de obra barata y con la utilización de combustibles más económicos, como el GLP subsidiado o el gas natural para bombas de agua.

Algunas diferencias notables de costos pueden encontrarse en los sistemas de flujo continuo. Aunque en la Tabla 5.13. mostramos valores de 750 a 1.600 dólares por hectárea, en Argentina el costo de sistemas de flujo continuo comerciales varían de 150 a 500 dólares americanos por hectárea, dependiendo de los caudales necesarios para el riego. Sin embargo, estos costos únicamente incluyen materiales y no la instala-

ción de equipos ni de bombas. Éste es sólo un pequeño ejemplo de la gran variedad de precios y sistemas que están disponibles para satisfacer las diferentes necesidades de riego de los agricultores.

El costo final de riego también depende de cómo el agricultor configura un sistema para sus necesidades individuales. Por ejemplo, hay varias opciones de configuración de los sistemas de riego por pivote central. Existen variedades grandes en la calidad, la eficiencia y los precios de estos sistemas. La mayoría de los comercialmente disponibles vienen con alcance de un radio aproximado de 400 m, lo que les permite cubrir 50 ha en una vuelta. El precio de estos sistemas estándar es de 35.000 a 80.000 dólares americanos. Sin embargo hay sistemas de diferentes tamaños. Por otra parte, se puede diferenciar los sistemas de pivote central en tres grandes categorías según la presión de agua que cada uno usa. En la Tabla 5.14. hacemos una comparación entre sistemas de alta presión,



Figura 5.28. Sistema LEPA para aplicación de agua.

Tabla 5.14.
Comparaciones entre sistemas de alta y baja presión y sistemas LEPA de riego por pivote central

Sistema (presión)	Alta	Baja	LEPA
Presión típica de pivote (libras por pulgada)	80	35	25
Aplicación de agua (l/hr)	Baja	Alta	Muy Alto
Tamaño de la gota	Grande	Pequeña	Variable
Evaporación y pérdidas por viento	Depende del viento	Poca si se usa tubos de aplicación directa	Ninguna
Potencial de escurrimiento	Poco	Moderado	Muy alto
Efecto de diferencias en elevación (topografía)	Escaso	Alto	Alto
Costo de energía* (200 pies)	\$us 12.764	\$us 8.799	\$us 7.650
Costo de energía* (400 pies de ascensión)	\$us 19.399	\$us 15.064	\$us 13.586

*Costo de bombeo para aplicar 600 mm, capacidad del sistema 54 l/s irrigando 50 ha, eficiencia de bomba 65% y costo de energía \$0.07 kwh. Fuente: I. Broner, Colorado State University Cooperative Extension irrigation specialist and associate professor, civil engineering (5/91. Reviewed 01/02).

baja presión y sistemas de riego de baja energía con aplicación precisa (LEPA, por sus siglas en inglés: Low Energy Precision Application). El LEPA usa un mecanismo de tubos que le permiten transportar el agua directamente al suelo, evitando así pérdidas innecesarias de agua por evaporación (ver Figura 5.28.).

En la comparación de los tres sistemas de pivote central en la Tabla 5.14. podemos observar las diferencias de aprovechamiento del agua y también de los costos variables por los combustibles. Un sistema LEPA puede ser mucho más rentable; sin embargo, significa una inversión inicial más grande, ya que es más caro. Este sistema también tiene limitaciones técnicas, pues no puede usarse en terrenos con topografía muy ondulada.

El agricultor o el técnico tienen que decidir la manera más apropiada de organizar el riego en el campo, lo que influye en el precio final del sistema. Por ejemplo, para sistemas de pivote central móviles, hay varias configuraciones posibles para irrigar 200 ha, como las dos más usadas que mostramos en la Figura 5.29.

Cada una de estas configuraciones tiene sus ventajas y desventajas, lo que exige hacer un balance detallado. Por ejemplo, en la de cuatro círculos se gasta menos en el pivote central, pero se tiene más costos en mangueras y mano de obra. En la de tres círculos el pivote central es mayor, o sea más caro, pero se ahorra en gastos de mano de obra y cañerías. Un sistema de pivote central móvil para tres círculos podría costar 70.000 \$us. A esta cifra para el equipo de siete tramos, habría que agregarle estimativamente unos 15.000 \$us para el motor, 12.000 para la bomba y unos 30.000 para el pozo, las cañerías y

el resto de las instalaciones necesarias para poner el equipo en funcionamiento. El precio fijo por hectárea sería de aproximadamente 635 dólares. El precio fijo del sistema de cuatro círculos podría ser un poco más barato, sin embargo, como mencionamos anteriormente, el costo de mover el sistema cuatro veces en lugar de sólo tres sería más alto. Por estas razones, es importante elegir y diseñar el sistema apropiado para cada caso individual.

Como los sistemas de riego son relativamente caros, la planificación del conjunto de la producción agrícola (cultivos, mercados, distribución, etc.), de modo que aquellos se adecuen a ésta, es de extrema importancia para obtener rendimientos económicos satisfactorios.

5.6. ECONOMÍA AGRÍCOLA Y CULTIVOS DE LA REGIÓN

En esta sección hacemos un resumen del estado actual de la agricultura en Santa Cruz y sugerimos el potencial de rendimiento con riego de algunos cultivos. El potencial de rendimiento con riego es una estimación que usa modelos como el modelo de riego de la FAO-CROPWAT y los resultados obtenidos en países como Argentina y Brasil. Sin embargo, estimaciones más precisas de los rendimientos de cada cultivo deberían ser hechas mediante experimentos con riego en cada región.

En la Tabla 5.15. mostramos la producción bruta del departamento de Santa Cruz conforme a datos de la CAO y las asociaciones regionales. Esta información indica que el cultivo principal de la región es la soya. Otros productos agrícolas de importancia son el arroz, la caña de azúcar, el maíz, el girasol, el sorgo, el trigo y

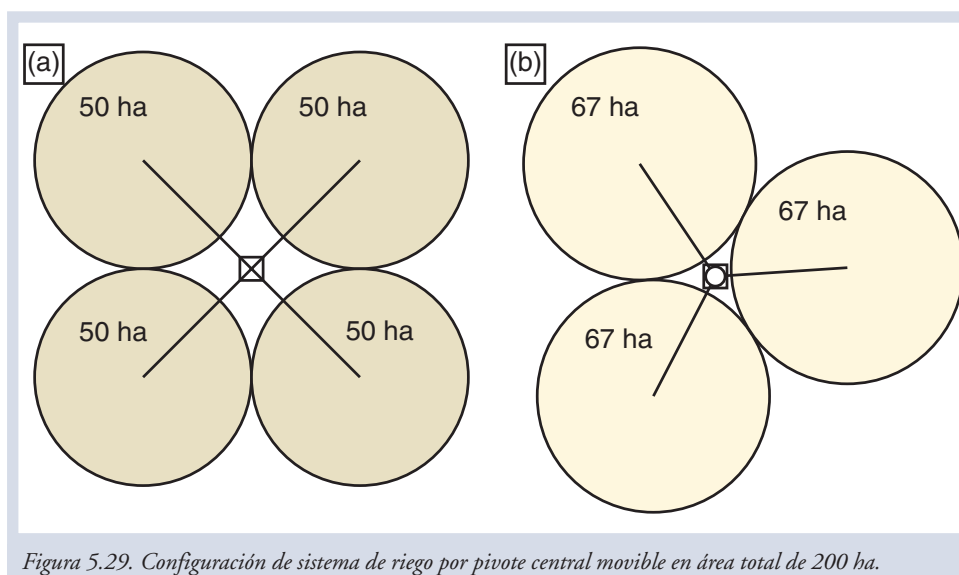


Figura 5.29. Configuración de sistema de riego por pivote central móvil en área total de 200 ha.

la producción pecuaria, entre otros. En primera instancia, podemos afirmar que los cultivos que se beneficiarían más del riego serían aquellos que están en las regiones con déficit de lluvias, como la soya, el maíz, el sorgo, el girasol y el trigo plantados en las regiones de expansión este y sur de Santa Cruz. Sin embargo, otros cultivos importantes como el arroz y la caña de azúcar también podrían ser beneficiados con riego complementario, especialmente en años de sequía. También habría beneficios para la producción pecuaria en zonas secas donde el riego de pastos ayudaría al engorde del ganado y evitaría pérdidas de animales. Sin embargo, de inicio los

cultivos de semillas serían los más beneficiados, pues se minimizaría el riesgo de pérdidas.

MODELO DE RIEGO EN EL CD ANEXO

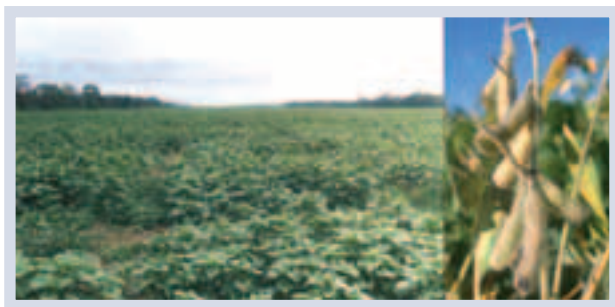
Para provecho del lector, entregamos en el CD Anexo una planilla de Excel con un modelo económico sobre el uso de riego en la región. Con este modelo el lector podrá calcular el resultado económico de implementar diferentes sistemas de riego para distintas condiciones y cultivos.

Tabla 5.15.
Valor bruto de la producción agropecuaria regional de Santa Cruz, 2002

Rubros agrícolas	Superficie ha.	Rdto TM/ha.	Producción TM	Precio \$us/TM.	Producción \$us
Cereales	298.500,00		888.725,00		145.013.250,00
Arroz	100.000,00	2.90	290.000,00	309.00	89.610.000,00
Trigo	31.000,00	1.56	48.400,00	190.00	9.196.000,00
Maíz	109.000,00	3.53	384.225,00	90.00	34.580.250,00
Sorgo	58.500,00	2.84	166.100,00	70.00	11.627.000,00
Industriales	876.672,00		5.604.277,50		277.207.457,00
Soya	639.200,00	1.88	1.201.500,00	163.00	195.844.500,00
Fibra de algodón	3.000,00	0.52	1.560,00	1.183.00	1.845.480,00
Pepita de algodón	-	0.74	2.220,00	70.00	155.400,00
Caña de azúcar	86.162,00	50.00	4.308.100,00	13.25	57.082.325,00
Girasol	133.500,00	0.58	78.000,00	175.00	13.650.000,00
Maní	2.986,00	1.17	3.496,00	825.00	2.884.200,00
Urucú	322,00	0.53	170,00	1.043.00	177.310,00
Tabaco	502,00	0.86	431.50	668.00	288.242,00
Sésamo	11.000,00	0.80	8.800,00	600.00	5.280.000,00
Frutas	45.143,00		420.266,00		84.341.737,14
Hortalizas	34.860,00		234.942,70		55.178.938,81
Tubérculos	35.012,00		502.652,90		65.941.487,84
Rubros pecuarios	Cabezas	Rdto Kg/lit/und.	Prod. Kg/lit/und.	Precio \$us/kg/lit/und.	Prod. \$us
Carne bovina	399.000,00	182,00	72.618.000,00	0,98	71.165.640,00
Prod. De cueros	324.000,00	1,00	324.000,00	7,00	2.268.000,00
Menu. De bovino	324.000,00	1,00	324.000,00	11,00	3.564.000,00
Leche			137.503.550,08	0,19	26.125.674,52
Carne porcina	130.115,00	69,40	9.029.981,00	0,89	8.036.683,09
Pollitos bb	27.728.466,13		27.728.466,13	0,30	8.318.539,84
Pollitas bb	439.256,88		439.256,88	0,60	263.554,13
Carne de pollo	30.245.757,63	1,80	54.442.363,74	0,69	37.565.230,98
Aves de descarte			1.947.216,80	1,20	2.336.660,16
Huevos			582.499.697,17	0,04	23.299.987,89
Miel de abejas			210,00	380,00	79.800,00
Total sector pecuario:					183.023.770,60
Total sector agropecuario:					811.334.607,91

Fuente: Subsectores afiliados a la CAO. Los datos de carne bovina incluyen las reses que se venden al interior del país.

5.6.1. PRODUCCIÓN Y PRECIOS DE LA SOYA



Producción de soya

Aunque la soya es el más importante cultivo en Bolivia, el rendimiento en toneladas por hectárea es bajo, especialmente en las zonas de expansión sur y este (ver Tabla 5.16.) El rendimiento promedio en la zona integrada era de 2,38 T/ha en el verano de 2001 a 2002, mientras que en la zona de expansión el rendimiento es de 1,60 T/ha. Esto se debe en gran parte a la falta de agua, entre otros factores. La soya es un cultivo que se beneficiaría mucho del riego, especialmente en las zonas de expansión. La adopción de la siembra

directa también es de interés (Tabla 5.17.), ya que provee de varios beneficios al agricultor; uno de ellos es la retención de la humedad del suelo. Un sistema de siembra directa con riego sería ideal para maximizar el uso de agua.

Economía de la soya

Bolivia, en 2003, tenía la ventaja de poder vender su producción de soya a la Comunidad Andina a precios mejores que los del mercado internacional. La Figura 5.30. muestra los precios de la Comunidad Andina para el aceite crudo y la soya en grano. Estos precios, concordados por la Comunidad Andina, posibilitan la producción nacional; sin ellos Bolivia encontraría dificultades para vender su producto. Por este motivo es importante que continúen los acuerdos ya firmados o que nuevos acuerdos bilaterales sean establecidos para que Bolivia pueda continuar exportando. A continuación registramos los precios históricos de la producción de soya de Santa Cruz; en la Tabla 5.18 la de verano y en la Tabla 5.19 la de invierno.

Tabla 5.16.
Producción de soya en Santa Cruz, verano de 2001 – 2002 (ANAPO)

Zona Agrícola	Producción (aprox.)	Área plantada	Rendimiento
Zona Integrada	386.000 T	162.500 ha	2,38 T/ha
Chane – Colonia Piraí		110.000 ha	2,5 T/ha
Montero – Okinawa		21.000 ha	2,48 T/ha
Zona Expansión	514.000 T	321.500 ha	1,60 T/ha
Sur de línea férrea			1,10 a 1,50 T/ha
Total verano 2001 – 2002	900.000 T	484.000 ha	1,86 T/ha

Tabla 5.17.
Siembra directa en Santa Cruz 2001 – 2002 (ANAPO)

Zona Agrícola	Área sembrada	Porcentaje
Zona Integrada (mejores sub-zonas)		
Montero-Okinawa	18.700 ha	89,05%
Chane – Colonia Piraí	68.600 ha	62,4 %
Zona Expansión (mejores sub-zonas)		
Cuatro cañadas	96.200 ha	67,5%
Siembra directa total	292.400 ha	60,4%

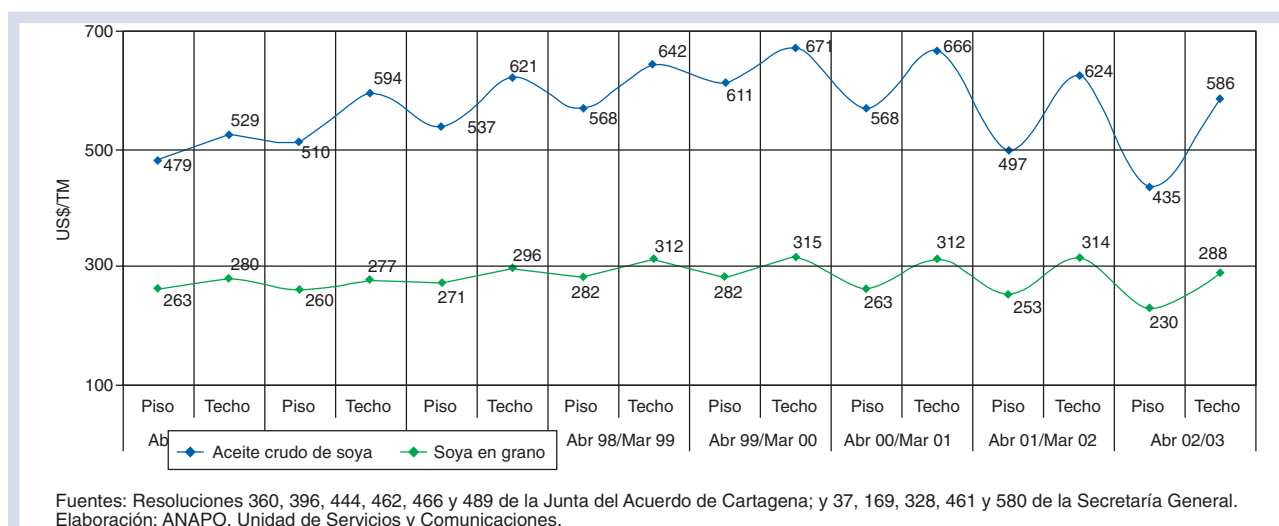


Figura 5.30. Precio de la soya en la Comunidad Andina para aceite crudo y soya en grano.

Tabla 5.18.
Evolución de la producción de soya de verano

Gestión	Superficie (has)	Rendimiento (TM/ha)	Producción TM	Precio (\$us/TM)
80/81	25.000	1,59	39.750,00	220,00
81/82	41.070	1,91	78.443,00	264,00
82/83	41.200	1,45	59.828,00	159,00
83/84	36.316	2,10	76.225,00	109,00
84/85	51.000	1,70	86.790,00	140,00
85/86	50.800	2,50	127.000,00	130,00
86/87	53.878	1,71	92.200,00	123,00
87/88	60.000	2,00	120.000,00	172,00
88/89	110.000	2,20	242.000,00	190,00
89/90	140.000	1,29	180.000,00	150,00
90/91	150.000	2,13	320.000,00	160,00
91/92	164.920	1,52	250.367,00	137,00
92/93	174.923	2,38	415.508,00	155,00
93/94	242.000	2,45	592.900,00	160,00
94/95	330.000	2,15	709.500,00	(150 - 164)
95/96	390.400	1,92	747.629,00	(180 - 210)
96/97	433.500	1,91	828.000,00	(180 - 210)
97/98	490.000	1,89	925.000,00	(150 - 160)
98/99	509.000	1,52	774.465,00	(130 - 140)
99/00	491.500	2,03	995.500,00	(145 - 165)
00/01	490.500	1,77	868.000,00	(135 - 145)
01/02	484.000	1,86	900.000,00	(148 - 160)

Fuente: ANAPO, Departamento de Producción y Servicios.
Elaboración: ANAPO, Unidad de Servicios y Comunicaciones.

Tabla 5.19.
Evolución de la producción de soya de invierno

Gestión	Superficie (ha)	Rendimiento (TM/ha)	Producción TM	Precio (\$us/TM)
1984	14.000	1,00	14.000,00	-
1985	12.000	1,01	12.120,00	-
1986	12.358	1,18	14.579,00	-
1987	12.500	1,01	12.600,00	-
1988	20.000	0,70	14.000,00	231,00
1989	30.000	1,50	45.000,00	150,00
1990	32.334	1,69	54.781,00	160,00
1991	45.000	1,60	72.000,00	140,00
1992	27.600	2,11	58.299,00	160,00
1993	65.231	1,50	97.847,00	165,00
1994	89.000	1,60	142.400,00	153,00
1995	63.600	1,57	100.000,00	(145-165)
1996	84.490	1,75	147.690,00	(190-210)
1997	90.000	2,00	180.000,00	(190-220)
1998	110.000	1,60	175.500,00	(150-160)
1999	117.000	1,58	185.000,00	(130-140)
2000	116.400	2,33	271.650,00	(135-145)
2001	145.000	2,30	333.500,00	(135-145)
2002	155.200	1,94	301.500,00	(160-170)

Fuente: ANAPO, Departamento de Producción y Servicios.
Elaboración: ANAPO, Unidad de Servicios y Comunicaciones.

5.6.2. PRODUCCIÓN Y PRECIOS DE OTROS CULTIVOS

En esta sección presentamos la producción y los precios de varios otros cultivos de importancia en la región. Estos son maíz, trigo, girasol, sorgo, caña de azúcar, y carne bovina (Tablas 5.20 a 5.26). Para cada uno de estos

cultivos presentamos una tabla con la producción histórica en toneladas por hectárea (para invierno y verano si esta información fuera disponible), la superficie cultivada y el precio de mercado en Santa Cruz en dólares por hectárea.

Tabla 5.20.
Producción de maíz en campaña de verano en Santa Cruz

Gestión	Superficie cultivada ha	Rendimiento TM/ha	Producción TM	Precio \$us/TM
1983/84	50.000	2,05	102.500	90,50
1984/85	70.000	2,20	154.000	94,42
1985/86	45.000	2,30	103.500	112,00
1986/87	32.000	2,30	73.600	153,17
1987/88	37.500	2,07	77.625	148,00
1988/89	35.000	2,50	87.500	99,05
1989/90	52.000	1,10	57.200	101,85
1990/91	40.000	3,60	144.000	132,00
1991/92	80.000	2,16	172.800	148,63
1992/93	83.000	3,60	298.800	110,05
1993/94	85.000	3,18	270.300	105,56
1994/95	89.000	3,06	272.340	165,95
1995/96	96.700	3,18	307.699	153,23
1996/97	99.300	3,12	309.668	113,88
1997/98	66.350	2,88	191.230	177,25
1998/99	90.650	3,20	290.285	117,54
1999/00	103.300	2,63	271.900	103,00
2000/01 ^(p)	104.000	3,05	317.200	77,07
2001/02 ^(p)	114.500	3,05	349.225	108,00
2002/03 ^(p)	99.000	4,00	396.000	90,00

(e): Datos estimados; (p): cifra preliminar

Fuente: PROMASOR y C.A., Dpto. Técnico - Elaboración: CAO, Sistema de Información

Maíz



Tabla 5.21.
Evolución de la producción de trigo en Santa Cruz

Gestión	Superficie (ha)	Rendimiento (TM/ha)	Producción TM	Precio (\$us/TM)
1981	8.000	0,98	7.840,00	-
1982	10.000	0,43	4.347,00	-
1983	11.678	0,92	10.743,76	-
1984	9.000	1,00	9.000,00	180,00
1985	12.960	1,00	12.960,00	175,00
1986	10.000	0,47	4.741,00	160,00
1987	6.500	1,15	7.500,00	164,00
1988	4.000	0,88	3.500,00	190,00
1989	13.316	0,82	10.864,96	200,00
1990	30.219	1,62	48.951,59	180,00
1991	36.614	1,32	48.400,48	175,00
1992	63.614	1,52	96.693,28	180,00
1993	35.115	0,96	33.710,40	180,00
1994	53.550	1,41	75.435,00	175,00
1995	53.000	0,73	38.690,00	195,00
1996	73.860	1,36	100.449,60	215,00
1997	112.250	1,07	120.414,00	210,00
1998	90.000	0,93	83.675,00	160,00
1999	37.750	1,00	37.750,00	160,00
2000	32.000	1,62	51.996,00	160,00
2001	52.000	1,10	57.200,00	160,00
2002	31.000	1,56	48.400,00	(180-200)

Fuente: ANAPO, Departamento de Producción y Servicios, Elaboración: ANAPO, Unidad de Servicios y Comunicaciones.

Trigo



Tabla 5.22.
Evolución de la producción de girasol en Santa Cruz

Año	Superficie (ha)	Rendimiento (TM/ha)	Producción TM	Precio (\$us/TM)
1987	40	0,60	24,00	-
1988	80	0,80	64,00	-
1989	350	0,80	280,00	-
1990	10,217	1,16	11.851,72	140,00
1991	21,500	1,37	29.455,00	130,00
1992	20,155	1,27	25.596,85	140,00
1993	23,031	1,22	28.097,82	160,00
1994	60,150	0,96	57.600,00	150,00
1995	41,000	0,80	33.000,00	155,00
1996	89,000	0,91	80.700,00	180,00
1997	143,350	0,80	114.184,00	180,00
1998	101,500	0,94	95.685,00	170,00
1999	130,000	0,85	110.000,00	170,00
2000	135,000	1,11	150.011,00	130,00
2001	178,300	0,97	173.345,00	135,00
2002	133,500	0,58	78.000,00	175,00

Fuente: ANAPO, Departamento de Producción y Servicios.
Elaboración: ANAPO, Unidad de Servicios y Comunicaciones.

Girasol



Tabla 5.23.
Evolución de la producción de sorgo de invierno en Santa Cruz

Año	Superficie cultivada ha	Rendimiento TM/ha	Producción TM	Precio \$us/TM
1991	10,000	3.00	30,000	99.05
1992	25,000	2.50	62,500	103.44
1993	13,200	1.23	16,240	82.53
1994	12,000	3.00	36,000	79.17
1995	20,000	2.80	56,000	124.46
1996	40,000	3.00	120,000	122.59
1997	21,000	2.50	52,500	91.11
1998	56,800	2.13	121,310	138.9
1999	24,700	1.93	47,550	87.13
2000	31,670	2.45	77,592	70.91
2001 ^(p)	48,000	2.85	136,800	59.22
2002 ^(p)	46,000	2.85	131,100	70.00
2003 ^(p)	50,000			

(p) Cifra preliminar; (e) Dato estimado.
Fuente: PROMASOR y C.A.

Tabla 5.24.
Evolución de la producción de sorgo de verano en Santa Cruz

Gestión	Superficie cultivada ha	Rendimiento TM/ha	Producción TM	Precio \$us/TM
1990/91	10.000	2,50	25.000	99,05
1991/92	15.000	3,20	48.000	103,44
1992/93	12.000	3,50	42.000	82,53
1993/94	10.200	3,14	32.028	79,17
1994/95	15.000	3,20	48.000	124,46
1995/96	10.000	3,00	30.000	122,59
1996/97	9.500	2,50	23.750	91,11
1997/98	14.500	3,06	44.500	138,90
1998/99	13.100	2,06	26.986	87,13
1999/00	18.000	2,60	46.750	68,90
2000/01	11.000	2,38	25.265	61,93
2001/02 ^(p)	12.500	2,80	35.000	59,97
2002/03 ^(p)	15.000	3,00	45.000	70,00

S/D: Sin dato; (p) Cifra preliminar; (e) Dato estimado.
Fuente: PROMASOR y C.A.

Sorgo

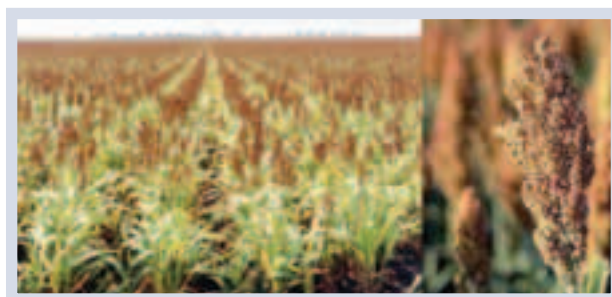


Tabla 5.25.
Evolución de la producción de azúcar en Santa Cruz

Año	Superficie de caña (ha)	Rendimiento de caña (TM/ha)	Producción de azúcar(qq)	Precio (\$us/TM)
	52.523	30,54	2.635.605	227,58
1985	53.201	36,04	2.945.631	244,00
1986	53.869	34,61	2.564.531	319,00
1987	47.414	32,42	2.464.091	383,58
1988	40.520	33,92	2.257.780	435,85
1989	38.425	44,16	2.906.553	453,27
1990	47.995	51,56	4.149.156	364,98
1991	64.354	47,30	5.077.255	311,87
1992	63.882	43,54	3.527.088	304,87
1993	65.503	34,47	3.439.383	403,09
1994	63.916	42,82	4.729.011	426,45
1995	70.298	45,70	5.748.078	515,99
1996	75.520	48,65	6.045.882	410,73
1997	75.118	47,00	5.719.073	385,65
1998	71.861	40,60	5.063.541	382,00
1999	69.736	41,16	5.417.706	354,03
2000	71.582	42,73	5.858.121	330,00
2001	78.162	47,00	7.202.253	305,00
2002 (p)	87.525	50,60	8.252.060	235,00
2003 (p)	89.853	47,00	7.700.000	220,00

S/D Sin datos; (e) Datos estimados; (p) Preliminar.
Fuente: Organización de Técnicos de la Agroindustria.

Caña de azúcar



Tabla 5.26.
Evolución de la producción de carne bovina en Santa Cruz

Gestión	Cabezas faenadas unidad	Rendimiento Kg/unidad	Producción TM	Precio \$us/kg
1988	103.368	178,00	18.400	1,05
1989	114.168	182,00	20.779	1,10
1990	103.675	185,00	19.180	1,18
1991	109.288	180,00	19.672	1,43
1992	134.000	174,50	23.383	1,42
1993	146.444	180,90	26.492	1,43
1994	148.460	184,00	27.317	1,45
1995	150.500	185,00	27.843	1,55
1996	155.000	185,00	28.675	1,55
1997	165.000	185,00	30.525	1,55
1998	185.000	180,00	33.300	1,55
1999	210.000	184,00	38.640	1,36
2000	210.000	183,00	38.430	1,20
2001	218.000	186,00	40.548	1,05
2002 ^(p)	219.000	187,00	40.953	0,98
2003 ⁽⁰⁶⁾	111.000	186,00	20.646	0,97

(p): Cifras preliminares; (06): Datos a junio 2003.
Fuente: FEGASACRUZ; Elaboración: CAO

Ganado



5.6.3. PRODUCCIÓN IDEAL CON RIEGO

El riego puede ayudar a incrementar la productividad total y también el área de producción agrícola. En términos macro económicos esto puede significar un incremento significativo de la renta del país, pudiendo hasta duplicar los actuales ingresos en un tiempo de cinco a diez años. A su vez, el riego generaría más trabajo, más consumo de energéticos (gas), más importaciones, exportaciones y servicios. Sin embargo, el riego extensivo en la región solo sería viable si se hace fomento, el cual debe incluir créditos, ayuda técnica y apertura de mercados.

Idealmente, la producción de los cultivos con buen manejo y riego llegaría a los valores mostrados en la Tabla 5.27. Estos significarían un visible incremento en la producción y deben ser considerados como la meta del manejo agrícola utilizando riego.

Un análisis simple de cinco cultivos extensivos que se pueden mejorar con riego y buen manejo en la región de Santa Cruz, muestra que la producción total podría casi duplicarse (Tabla 5.28.) Esto sin tomar en cuenta la nueva producción que entraría en el mercado si se ampliara el número de hectáreas cultivadas con sistemas de riego.

El riego del pasto para la ganadería podría mejorar el engorde en tiempos de sequía, durante el invierno. La inversión en perforación de pozos de agua puede evitar

la muerte de ganado por la sequía en regiones como el Chaco cruceño, porque se puede utilizar el agua tanto para que los animales beban como para el riego de algunos pastos. Por ejemplo, 50 hectáreas de riego para pasto en una propiedad mediana de 500 a 1.000 hectáreas mejorarían substancialmente el engorde de ganado durante todo el año, utilizando agua subterránea y un sistema de riego por pivote central. En regiones como el Chaco (provincia Cordillera) esto puede significar un incremento substancial en la producción de carne por hectárea. Sin embargo, se tiene que realizar un análisis económico detallado para ver la viabilidad de cada caso. En la Tabla 5.29. se encuentra una comparación en la producción ganadera entre las diferentes provincias del departamento, en la cual observamos que la producción de carne disminuye drásticamente en las provincias donde el clima es más seco (por lo general). Otra posibilidad para mejorar ingresos y evitar pérdidas tanto del ganado como de la producción es llevar a cabo sistemas mixtos de producción de girasol, sorgo y pasto, para el engorde de ganado. Cada uno de estos sistemas tiene que ser estudiado y adecuado específicamente a cada propiedad, utilizando variables como tamaño, población ganadera, clima histórico y otras, para determinar el área ideal de riego.

Usando los datos económicos presentados en esta sección y el modelo económico para riego del CD Anexo,

Tabla 5.27.

Producción ideal con buen manejo y riego para diferentes cultivos obtenidos de un análisis de producción óptima de la región de Santa Cruz

Cultivo	Verano (T/ha)	Invierno (T/ha)
Maíz	7	6
Girasol	-	2
Sorgo	5	5
Trigo	3,5	3
Soya	4	3,5

Tabla 5.28.

Posible incremento en la producción actual con riego y buen manejo agrícola

Cultivo	Hectáreas cultivada actuales	Producción con riego (TM/ha)	Producción con riego (TM)	Producción \$us
Trigo	31.000,00	3	93.000	17.670.000,00
Maiz	109.000,00	6	654.000	58.860.000,00
Sorgo	58.500,00	5	292.500	20.475.000,00
Soya	639.200,00	3,5	2.237.200	364.663.600,00
Girasol	133.500,00	2	267.000	46.725.000,00

Tabla 5.29.
Parámetros zootécnicos de la producción ganadera en Santa Cruz, 2001

Provincia	Población ganadera estimada (1)	% de extracción	Nacimientos %	Mortalidad terneros %	Edad de faneos en años	Kg/carne por ha/año
Andrés Ibáñez	165.597	15	60	7	2,5 a 3,0	150-350
Warnes	89.250	15	60	7	2,5 a 3,0	150-351
O. Santisteban	56.778	15	60	7	2,5 a 3,0	150-352
Sara	112.498	15	60	7	2,5 a 3,0	150-353
Ichilo	63.572	15	60	7	2,5 a 3,0	150-354
Florida	99.322	12	50	7	4,0 a 5,0	20-80
Vallegrande	141.413	12	50	7	4,0 a 5,0	20-80
M.N. Caballero	52.953	12	50	7	4,0 a 5,0	20-80
Cordillera	312.018	12	55	8	3,0 a 4,0	20-80
Chiquitos	136.000	14	55	8	3,0 a 4,0	20-120
Ñúflo de Chávez	153.552	14	55	8	3,0 a 4,0	20-150
Velasco	197.762	14	55	8	3,0 a 4,0	20-150
A. Sandoval	236.861	14	55	8	3,0 a 4,0	20-150
G. Busch	69.358	14	55	8	3,0 a 4,0	20-150
Guarayos	51.324	14	55	8	3,0 a 4,0	20-150
Total	1.938.257					

Fuente: FEGACRUZ y CAO

el lector puede calcular varios escenarios de producción con riego. Cada caso es individual y presenta desafíos y oportunidades propios.

Los desafíos principales de la ejecución de sistemas de riego son, en el ámbito económico:

- Fomentar el riego a gran escala para incrementar la producción.
- Superar los elevados costos de los sistemas de riego modernos.
 - Importar componentes y sistemas de riego.
 - Fomentar el desarrollo de la tecnología para riego en Bolivia. Capacitar a las universidades

en el diseño de sistemas de riego. Incentivar a la iniciativa privada para la construcción de sistemas de riego.

- Obtener financiamiento y créditos a largo plazo para viabilizar el riego. Algunos de los programas actuales de crédito se basan en el valor de la tierra; sin embargo, el precio de la tierra es en muchos casos inferior al del financiamiento requerido para el riego. Un crédito específico de largo plazo sería necesario.
- Obtener ayuda técnica para la implementación y manejo de los sistemas de riego.

(6)

ZONIFICACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA Y POTENCIAL DE RIEGO

El desarrollo agrícola de la llanura cruceña depende de la disponibilidad de lluvias. Los cambios climáticos y la variación de las lluvias en algunos años hacen que el rendimiento de la producción agrícola descienda, en muchos casos porque el agua escasea en la etapa más crítica del periodo de floración de los cultivos. Esta situación se observa también en las zonas húmedas (zona norte) y desde luego es más marcada en las áreas secas (zona sur).

Este cuadro agrícola es preocupante para el crecimiento económico de la región. Por ello se ha visto necesario hacer una zonificación de la llanura cruceña en función de la disponibilidad de agua (superficial y subterránea) y de las clases de suelo. Esta zonificación ayudará a planificar el desarrollo agrícola bajo riego, y a trazar políticas de explotación y conservación de los recursos agua y suelo, a fin de evitar su deterioro.

La llanura cruceña se ha dividido en nueve zonas, las cuales están detalladas en la Tabla 6.1. En la Figura 6.1. se presenta el mapa zonificado de la región. Cuatro de las nueve zonas se subdividen en tres: IG1, IG2, IG3: aluviales recientes del Río Grande; PI1, PI2, PI3: región del río Pirai; PM1, PM2, PM3: pie de monte, y RG1, RG2, RG3: aluvial antiguo del Río Grande. Estas subdivisiones se hicieron en función de las necesidades de agua. La zona AP es definida como un área protegida que forma parte del Parque Nacional Kaa Iya e incluye los cerros aislados de alto Paragua. La zona BI incorpora a los bañados de Izozog; la zona GU a los arenales de Guanaco. La zona RP coincide con los suelos aluviales del río Parapetí y la zona SC con el sur de la ciudad de Santa Cruz, de características arenosas. Cada una de las zonas fue seleccionada por sus características climáticas, fisiográficas, geológicas, litológicas y otras, las cuales definen

Tabla 6.1
Zonificación de la llanura cruceña

Zona y subzona		Nominación de las zonas
AP		Área protegida – zona de los cerros aislados del Alto del Paragua
BI		Bañados del Izozog
GU		Arenales de Guanacos
IG	IG1	Aluvial reciente del Río Grande – parte alta
	IG2	Aluvial reciente del Río Grande – parte media
	IG3	Aluvial reciente del Río Grande – parte baja
PI	PI1	Región del río Pirai – zona integrada
	PI2	Región del río Pirai – zona baja
	PI3	Región del río Pirai – zona de expansión norte – Yapacaní
PM	PM1	Pie de monte – sur oeste
	PM2	Pie de monte – centro oeste
	PM3	Pie de monte – noroeste
RG	RG1	Aluvial antiguo del Río Grande – zona de Abapó-Bañados de Izozog
	RG2	Aluvial antiguo del Río Grande – zona de expansión agrícola este y sur este
	RG3	Aluvial antiguo del Río Grande – zona de expansión noreste-brecha casabre
RP		Aluvial del río Parapetí
SC		Región sur de Santa Cruz - suelos arenosos

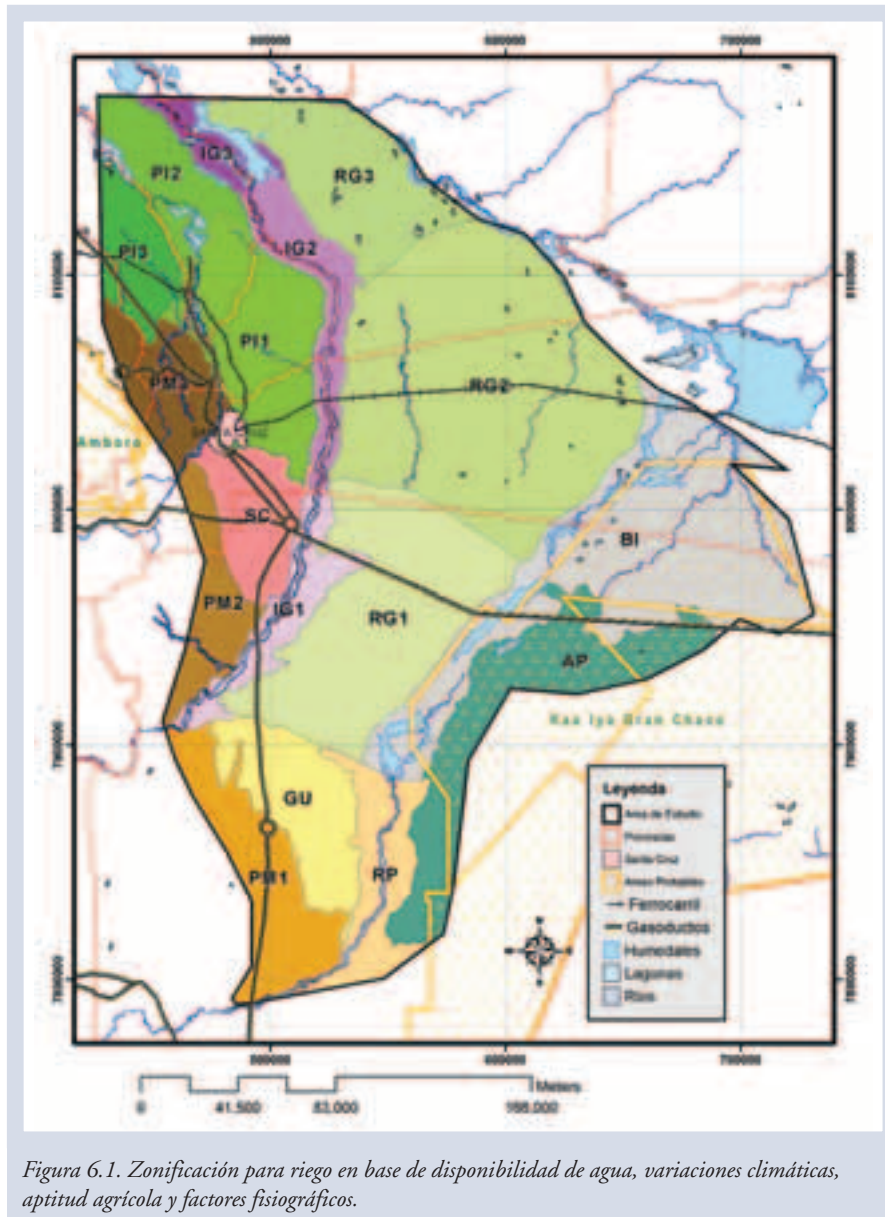


Figura 6.1. Zonificación para riego en base de disponibilidad de agua, variaciones climáticas, aptitud agrícola y factores fisiográficos.

su potencial de riego y su disponibilidad de agua. Las zonas BI y AP son áreas de alto valor ecológico que se debe proteger. La zona Arenales de Guanacu (GU) es un área frágil y con poca aptitud agrícola; la zona PM y sus sub-zonas tienen aptitud agrícola limitada y disponibilidad de agua variada. Las zonas SC-RP-RG-PI, con sus respectivas subdivisiones, son aptas para uso agrícola bajo riego. Las zonas IG y sus respectivas subdivisiones tienen un importante potencial de riego superficial, gracias a las aguas del Río Grande; sin embargo, también sufren severos riesgos de inundaciones. Son regiones importantes para la recarga de los acuíferos de la llanura cruceña.

6.1. CARACTERÍSTICAS DE CADA ZONA

Para cada una de las indicadas zonas se hace una caracterización de la disponibilidad de agua, la necesidad de riego para determinados cultivos, el caudal de explotación, la superficie recargable, la deficiencia de agua y, finalmente, un análisis técnico-económico sobre el desarrollo de la agricultura bajo riego. A continuación presentamos un análisis comparativo de los datos meteorológicos para cada zona y luego proseguimos con su caracterización.

6.1.1. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS DATOS METEOROLÓGICOS

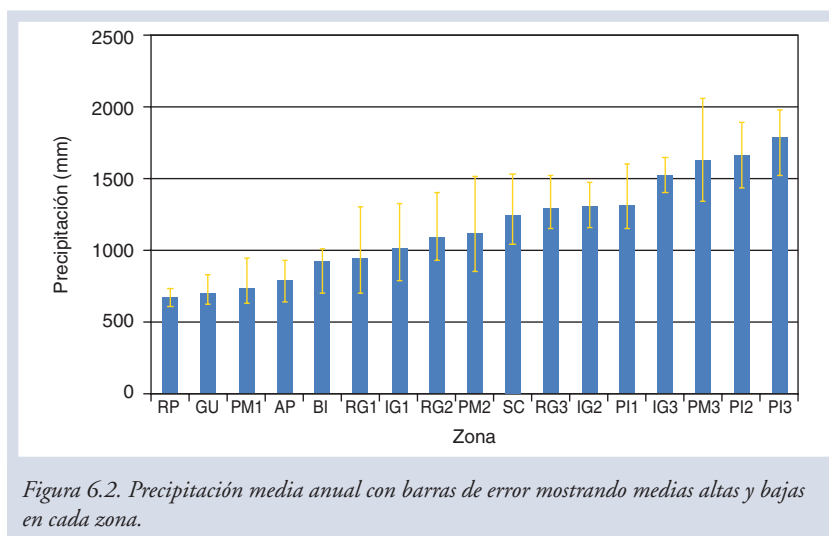
El propósito de hacer un análisis comparativo de los datos meteorológicos (precipitación y evapotranspiración potencial) es para determinar el grado del déficit de agua en cada zona, lo que constituye el punto de partida para determinar el grado de necesidad de riego de la misma.

Para cada una de las zonas fueron calculadas la precipitación media mínima anual, la media máxima anual, la variación, la media total anual, una estimación de evapotranspiración potencial, y el área afectada, como muestra la Tabla 6.2. Este cálculo para cada zona fue realizado

en base a la interpolación utilizando SIG de los datos puntuales de las estaciones, según están descritos en el Compendio Meteorológico del Departamento de Santa Cruz (1992); se utilizó series de datos de por lo menos 10 años. En la Figura 6.2. se muestra un análisis comparativo de las sub-zonas respecto a la precipitación media. Podemos ver claramente que las zonas RP (aluvial del río Parapeti), GU (Arenales de Guanaco), AP (área protegida), y PM1 (pie de monte-sur) son las zonas con menor precipitación de la región y por lo tanto con mayor necesidad de riego para la producción agrícola. Por otro lado, las zonas IG3 (aluvial reciente del Río Grande –norte–), PM3 (pie de monte norte), PI2 y PI3 (región del río Pirai

Tabla 6.2.
Valores de precipitación, ETo y área para cada zona

Zona	Media min. (mm)	Media max. (mm)	Variación	Media	STD	ETo Estimado	Área (km ²)
AP	642	933	291	792	88	1.950	4.646,67
BI	703	1.012	309	929	75	1.850	9.700,14
GU	625	826	201	702	33	1.900	2.943,89
IG1	790	1.327	537	1.015	146	1.750	1.819,42
IG2	1.160	1.479	319	1.304	78	1.600	2.073,59
IG3	1.409	1.648	239	1.530	60	1.500	1.044,44
PI1	1.155	1.607	452	1.313	107	1.500	4.559,76
PI2	1.435	1.894	459	1.664	87	1.450	1.916,24
PI3	1.524	1.985	461	1.796	97	1.400	1.826,68
PM1	634	945	311	735	58	1.750	3.173,04
PM2	849	1.519	670	1.116	188	1.600	1.749,53
PM3	1.341	2.060	719	1.629	189	1.450	2.007,57
RG1	702	1.305	603	942	129	1.700	7.022,35
RG2	929	1.406	477	1.095	72	1.600	12.755,72
RG3	1.151	1.528	377	1.301	82	1.500	4.049,75
RP	609	731	122	672	31	1.850	2.262,58
SC	1.045	1.532	487	1.250	135	1.600	2.022,33



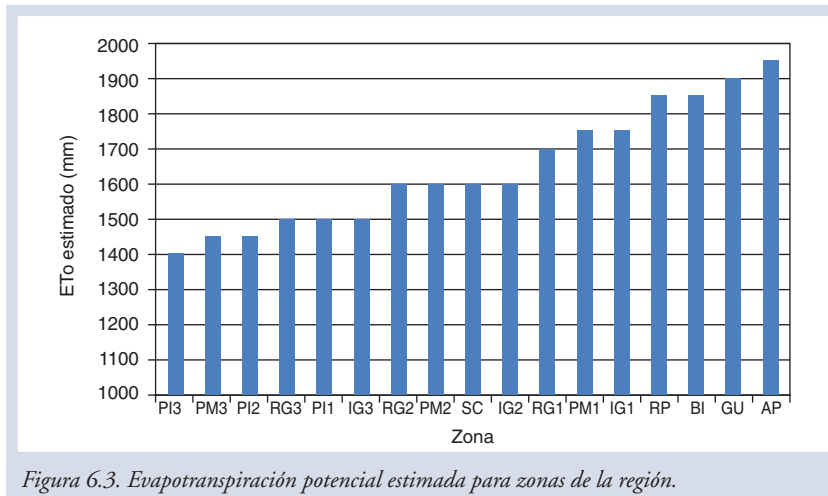


Figura 6.3. Evapotranspiración potencial estimada para zonas de la región.

norte) son las que reciben más precipitación, con valores medios superiores a los 1.500 mm anuales. En estas regiones la necesidad del riego es escasa, y se limitaría a la de riego suplementario en época seca.

En la Figura 6.3. presentamos una estimación de la evapotranspiración potencial de cada zona. Esta estimación se deriva de los cálculos de ETo para las estaciones donde existen mediciones apropiadas para tales cálculos (en el CD Anexo se incluyen planillas en Excel con los datos).

Aunque los valores anuales de precipitación son útiles en forma general para una comparación del défi-

cit de agua de las zonas, los datos mensuales son necesarios en términos de riego y agricultura. En la Tabla 6.3. presentamos los datos mensuales de precipitación media para cada zona. Con esta información se puede probar la variabilidad de precipitación durante el año y la diferenciación de las épocas secas y húmedas. Igualmente, en la Tabla 6.4. mostramos las mínimas medias mensuales de precipitación para cada zona. Estos valores nos ayudan a comprender la variabilidad de las lluvias y a pronosticar escenarios futuros de poca precipitación, en los que el riego sería necesario para evitar las pérdidas de cultivos.

Tabla 6.3.
Precipitación media mensual para cada zona en mm

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
AP	123	103	93	68	53	31	19	24	28	49	79	117
BI	140	118	115	70	66	42	29	30	34	62	90	132
GU	112	103	76	72	43	24	11	13	14	32	83	111
IG1	161	129	106	90	78	48	33	28	34	57	97	150
IG2	217	145	118	84	81	64	47	58	72	97	138	176
IG3	251	190	130	96	103	68	40	65	81	121	173	202
PI1	217	142	116	84	80	67	52	52	70	95	141	185
PI2	268	209	144	104	120	79	50	82	90	126	171	218
PI3	279	223	173	118	129	87	60	78	100	129	182	236
PM1	129	118	99	77	38	20	9	8	12	32	60	117
PM2	183	149	144	101	75	48	32	23	33	61	102	155
PM3	253	181	181	118	101	77	63	59	79	112	161	228
RG1	140	116	102	78	75	46	33	31	37	59	106	140
RG2	167	129	125	74	75	56	44	47	54	64	99	155
RG3	209	154	126	87	87	60	37	46	71	96	145	175
RP	111	97	78	69	38	21	9	14	16	31	61	110
SC	221	147	141	106	92	65	50	51	58	85	123	193

Tabla 6.4.
Precipitación media mínima para cada zona en mm

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
AP	109	93	75	64	35	19	9	12	13	26	41	105
BI	107	96	73	64	40	24	11	17	18	37	79	107
GU	101	93	65	67	34	18	7	8	12	25	43	103
IG1	118	111	73	80	54	30	15	9	13	28	67	119
IG2	189	128	100	68	68	57	38	45	59	79	109	161
IG3	234	165	118	92	89	64	38	45	76	114	156	191
PI1	183	114	55	67	64	61	39	22	44	40	104	160
PI2	248	168	120	92	89	66	40	48	75	102	151	177
PI3	243	183	139	103	100	73	52	45	84	100	153	189
PM1	111	96	69	68	33	17	7	4	8	25	43	108
PM2	126	122	93	85	49	27	13	3	14	32	64	125
PM3	213	141	125	90	76	66	55	39	67	89	128	196
RG1	102	95	67	70	47	25	12	12	13	29	71	108
RG2	136	112	111	67	63	44	30	33	36	51	84	128
RG3	177	134	114	77	75	53	31	36	59	73	106	159
RP	106	90	72	65	34	18	7	6	9	24	39	105
SC	166	128	110	93	79	47	29	21	31	58	95	154

A continuación presentamos una descripción de cada zona de la región con respecto a la disponibilidad de agua, tanto superficial como subterránea, y las necesidades de riego.

6.1.2. AP: ÁREA PROTEGIDA SEDIMENTARIA DEL CHACO

La unidad AP se halla ubicada en el extremo sureste de la región de Santa Cruz, junto al límite con el Paraguay. Presenta una morfología casi plana, con la excepción de una serie de cerros aislados que se encuentran alineados hacia el noreste. En esta zona también se encuentra el Parque Nacional Kaa Iya del Gran Chaco, un área protegida y habitada por originarios de la región. El riego extensivo no es recomendable en esta región, porque ésta es parte del parque, y por la baja producción de pozos de agua y la inviabilidad económica de hacer una producción agrícola extensiva en esta zona. Sin embargo, se recomienda el uso de pozos y de riego en pequeña escala para ayudar a la comunidad indígena a diversificar su producción agrícola y mejorar sus condiciones de vida. En estas circunstancias, molinos de viento para bombear agua podrían ser una alternativa viable a largo plazo, ya que el transporte y el costo de cualquier combustible podrían tornar el riego inviable.

6.1.3. BI: BAÑADOS DE IZOZOG

Esta unidad comprende la zona de los bañados de Izozog. A partir de la comunidad de Guarirenda el río Parapetí no tiene un curso definido; su lecho se encuentra entrecortado, como si se tratara de grandes lagunas de forma alargada, las cuales son alimentadas en cada periodo lluvioso por el río Parapetí. Durante las grandes tormentas y la época húmeda las aguas fluyen siguiendo el lecho del río que va hacia el nor-noreste, sobre la superficie, y abandona la cuenca a la altura de la serranía de San José de Chiquitos, para luego descargar sus aguas en la Laguna Concepción. Estas grandes lagunas constituyen una reserva de agua superficiales adecuadas para satisfacer la demanda de agua a toda la fauna de la región, y son la única fuente de agua disponible en la zona en los periodos de sequía.

Cualquier alteración en la cuenca alta del río Parapetí, la disminución del agua por la construcción de represas o su contaminación por los desechos líquidos y sólidos, seguramente tendría consecuencias muy negativas para la fauna y la flora de toda la zona.

La unidad BI constituye uno de los ecosistemas más importantes de la región, por la diversidad de flora que tiene y por ser el centro de concentración de la fauna que necesita agua en la época de estiaje.

Un uso excesivo de los recursos hídricos de la cuenca del río Parapetí puede ocasionar la pérdida de humedales de importancia, particularmente en los bañados del Izozog y la Laguna Concepción. Las poblaciones de vida silvestre en el parque nacional Gran Chaco-Kaa-Iya son extremadamente dependientes de los bañados de Izozog durante varios meses críticos de la época seca, por lo que la desaparición de los humedales podría causar el colapso de poblaciones de fauna, ocasionando daños irreversibles a la vida silvestre del país. Aves migratorias provenientes de Norteamérica y la Patagonia utilizan la Laguna Concepción como un paradero de descanso durante sus largas migraciones estacionales, por lo que la desaparición de este humedal tendría impactos a nivel hemisférico.

La importancia de los dos humedales fue reconocida en el año 2000 por el gobierno de Bolivia y la comunidad internacional con su designación como sitios RAMSAR y su clasificación en el estatus de humedal de importancia global (Convenio RAMSAR). Ramsar es el nombre de una ciudad en Iran donde el convenio internacional de protección de humedales fue originariamente idealizado en los años 70 y desde entonces casi todos los países de mundo han firmado el convenio. El gobierno

de Bolivia se comprometió a la conservación de los ecosistemas del humedal y al uso racional de sus recursos hídricos.

El riego en esta zona tendría que ser limitado en similar forma a la unidad AP, o sea, destinarse solamente a mejorar las condiciones de vida de las comunidades originarias. En la parte norte de la unidad BI habría que restringir la expansión agrícola extensiva, que puede alterar el flujo de ingreso de las aguas a los bañados y a la Laguna Concepción. Como podemos observar en la Figura 6.4., de 2001, ya existe el riesgo de incursión en el corredor que conecta los bañados y la Laguna Concepción.

6.1.4. GU: ARENALES DE GUANACO

La unidad GU se halla ubicada entre los ríos Grande y Parapetí. Tiene aproximadamente 35 km de ancho y 65 km de largo. Los sedimentos de los Arenales de Guanaco fueron transportados desde las playas del Río Grande por la acción de los vientos predominantes del noroeste y depositados sobre los sedimentos rojos existentes en la zona (ver Figura 6.5.) El espesor de estas dunas es variable; las de mayor espesor se encuentran hacia el oeste y las de menor espesor al este.

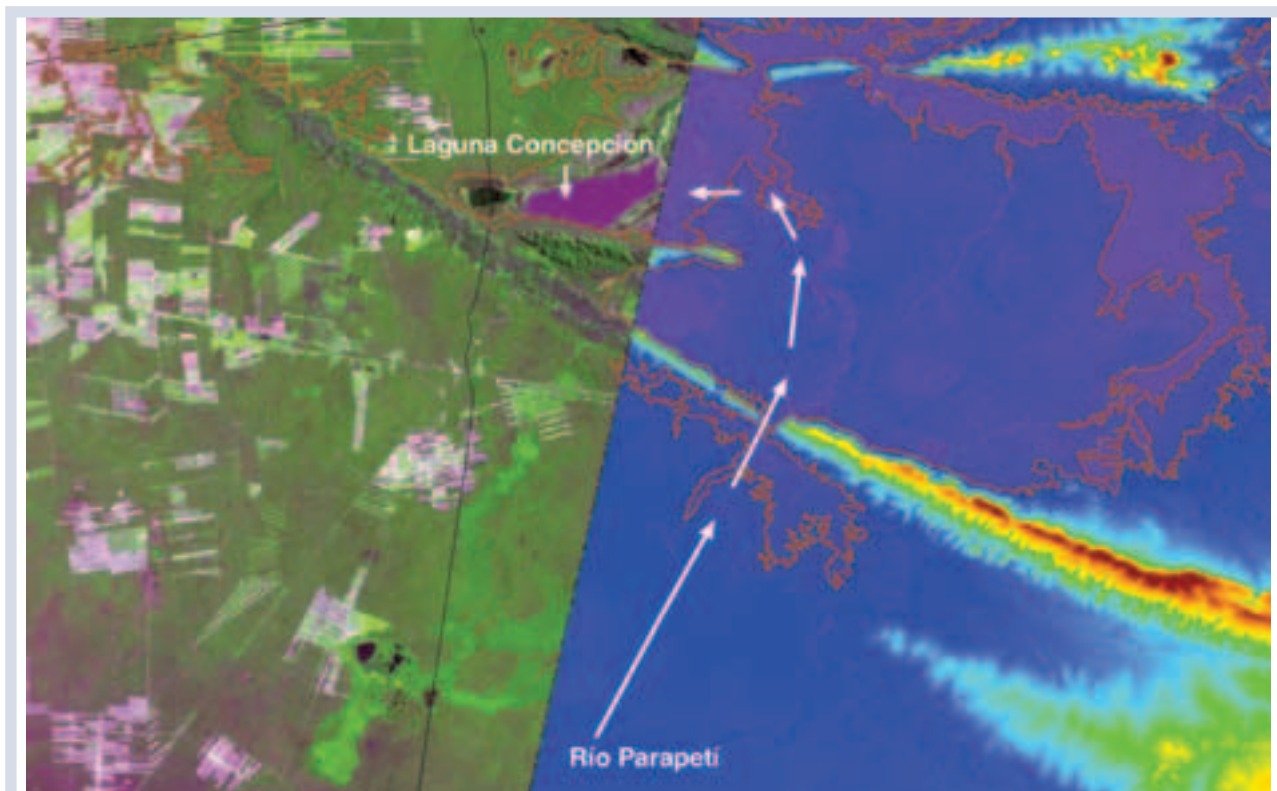


Figura 6.4. Imagen de satélite LandSat 2001 y DEM mostrando los relieves en colores y la ubicación de la región de influencia a la Laguna Concepción. A la izquierda, en colores rosado y verde claro, se puede observar la expansión agrícola.

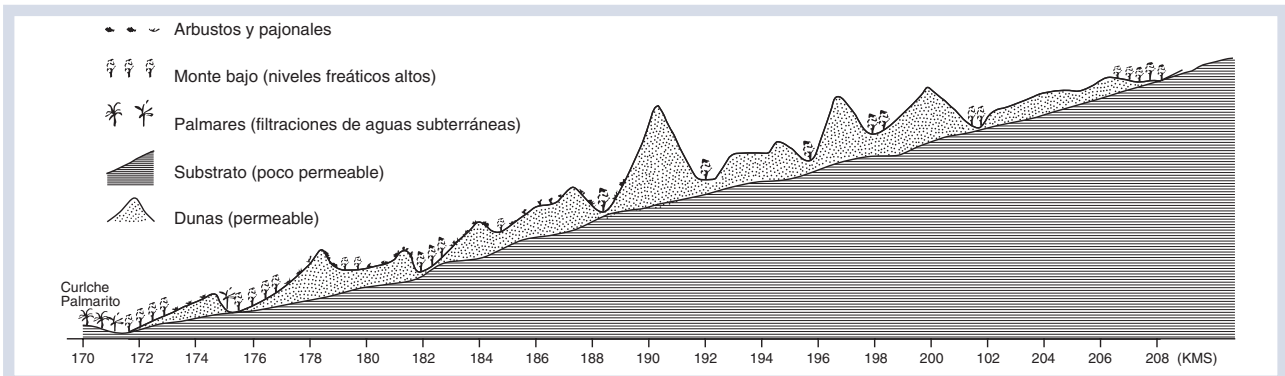


Figura 6.5. Esquema de la zona de Arenales de Guanaco.

Las dunas presentan un relieve ondulado y forman amplios valles en donde se desarrolla un tipo de vegetación más alta y exuberante, mientras que en las partes altas de las dunas predominan los arbustos y la paja brava. Esto se debe a que los valles de las dunas poseen mayor humedad. Pese a la escasa e irregular precipitación que se registra en esta unidad, la alta porosidad y permeabilidad de sus suelos permite la infiltración de las lluvias de larga duración, lo que constituye un acuífero superficial pequeño, que muy bien puede ser explotado limitadamente para el desarrollo de la ganadería, que en pequeña escala es la actividad más apropiada para esta unidad.

6.1.5. IG1, IG2, IG3: ÁREA DE INFLUENCIA DEL RÍO GRANDE

Las unidades IG1, IG2, y IG3 se hallan ubicadas en ambas márgenes del Río Grande, desde la comunidad de Curiche, al sur, hasta el límite del área de estudio, al norte, formando una franja de aproximadamente 14 km de ancho por 300 km de largo. Esta franja corresponde a la influencia del río, que durante las grandes tormentas se desborda, inundando grandes áreas. Estas unidades son importantes porque mediante ellas ocurre una significativa recarga de agua de los acuíferos de la llanura cruceña. Aunque esta recarga ocurre durante todo el año mediante percolación profunda de las aguas del río, en tiempos de inundaciones y flujos substanciales, cuando los suelos se saturan, es substancialmente mayor.

La alteración de esta franja con fines agrícolas, ganaderos, etc. trae como consecuencia los desbordes. La compactación de los suelos por el uso de la maquinaria y el pisoteo del ganado, influye negativamente en la infiltración de las aguas del Río Grande, causando inundaciones y cambios en el lecho del río.

Río Grande amenaza con inundar 100 mil hectáreas de cultivos

La población de Okinawa 1 enfrenta el inminente riesgo de una inundación como la que sufrió Pallón hace dos años, cuando las aguas de Río Grande se salieron de su cauce.

El peligro solamente se puede conjurar con la construcción de defensivos, pero con urgencia, ya que Okinawa-1 se encuentra 6 metros más abajo del nivel de Río Grande, y peor Minero, que está a 12 metros. En caso de producirse una

riada, las aguas inundarán las comunidades aledañas, tanto de Santistevan como de Warnes, y cubrirán alrededor de 100.000 hectáreas de tierras cultivadas, indicó el alcalde de Okinawa, Katsuyosi Taira.

El mayor riesgo se encuentra en la barranca del meandro formado a la altura de la comunidad Moscú, cerca de El Carmen. Si la corriente rompe esta barrera natural, las aguas abrirían nuevos cauces. /ORA

Figura 6.6. Artículo del periódico El Deber de Santa Cruz del 19/12/2003 que informa sobre los problemas por inundaciones ocurridos en la zona IG2 como consecuencia del desborde del río.

Un rebalse del Río Grande mató a tres personas en zona de Ipitá

TÓRRENTO BALBUZAO

Una torrencial lluvia registrada ayer desde el mediodía en la provincia Cordillera, provocó una crecida del Río Grande que a su vez mató a tres personas en la comunidad Ipitá, a aproximadamente 200 kilómetros de Santa Cruz.

De acuerdo a los informes llegados desde la zona, la gente estaba contenta con la lluvia que dio por concluido un largo periodo de sequía en la región chaqueña, cuando

las aguas se salieron de su cauce natural y arrastraron todo lo que encontraban a su paso, incluyendo a tres personas cuya identidad no ha sido establecida.

Autoridades de Camiri se trasladaron anoche hasta Ipitá para constatar los hechos aunque los caminos estaban intransitables por los efectos de la lluvia. Se esperan informes más completos para hoy martes, una vez se haga la evaluación correspondiente en toda la zona.

Figura 6.7. Artículo del periódico El Deber de Santa Cruz del 23/12/2003 que informa sobre las consecuencias de las inundaciones en la zona IG1.



Figura 6.8. Zonas de inundación potencial (alagamiento) en la unidad IG3.

Las zonas IG1 e IG2, eminentemente agrícolas, están expuestas, en un gran porcentaje, a las aguas del río desbordado. Un ejemplo de esta situación se encuentra en una publicación de un periódico local (Figura 6.6.) Las causas del desborde del río se deben a una serie de factores, como la baja pendiente del cauce, la sedimentación del lecho, el desmonte hasta la orilla para ocupar suelos fértiles y otros. Estos hechos traen desgracias durante la época de lluvias, tanto para la agricultura como para la vida humana (Figura 6.7.) Sin embargo, los agricultores continúan utilizando estas áreas porque son muy fértiles y hay abundante agua superficial y subterránea a poca profundidad. La región de IG1 presenta las condiciones más apropiadas para el riego superficial mediante la construcción de un sistema de canales. Lo más importante es la ubicación de la obra de toma, a fin de evitar su deterioro y el de los canales principales.

La zona IG3 ocupa un relieve llano que drena el Río Grande, cuya morfología es muy sinuosa debido a la pendiente muy baja. En algunos sectores el río se bifurca en una serie de bazazos que se cruzan entre ellos. En estas condiciones no es posible el desarrollo agrícola; sin embargo, en los periodos largos de sequía es posible desarrollar una agricultura de alto riesgo por inundación. (Figura 6.8).

6.1.6. PI1, PI2, PI3: ÁREAS NORTE ALREDEDOR DEL RÍO PIRAI

Las zonas PI1, PI2, y PI3 son generalmente suelos productivos y fértiles en el norte de Santa Cruz, que se extienden alrededor del río Pirai. La textura del suelo varía bastante, pero por lo general es más pesada que la textura de las regiones sur, pues contiene más arcillas, lo

que las hace más aptas para la agricultura, mediante la mejor retención de la humedad del suelo. En estas unidades también hay abundancia de agua subterránea extraíble mediante pozos.

Las necesidades de riego varían de un requerimiento medio en la unidad PI1 a uno mínimo en las unidades PI2 y PI3. Como ejemplo, presentamos los requerimientos de agua para riego de diferentes cultivos de la unidad PI2 en la Tabla 6.5. Podemos apreciar que los requerimientos de riego son mínimos para todos los cultivos, incluso en invierno. En este caso, el riego sería una medida provisional para años de extrema sequía. Sin embargo, el riego sería apropiado para el cultivo de semillas y cultivos de alto valor, para garantizar la producción. En la unidad PI1 puede ser económico el riego a gran escala, manejando bien los costos y escogiendo un sistema de riego flexible y movable para poder usarlo para riego suplementario. La productividad de invierno podría incrementarse significativamente gracias a ello. En las unidades PI2 y PI3 por lo general el incremento de productividad con riego sería bajo, por lo cual no se justifica la compra de sistemas de riego en gran escala para cultivos convencionales (soya, maíz, etc.) En la Figura 6.9. se verá una foto aérea de la zona de expansión norte, la cual muestra la existencia de abundante agua para la agricultura.



Figura 6.9. PI3 – zona norte de expansión agrícola.

Tabla 6.5.
Necesidades de agua para riego en diferentes cultivos de la zona PI2

Cultivo	Fecha de		ETo	ETo Cultivo	Prec Total	Prec Eff	Req Riego	Suministro de agua (l/s/ha)			
	Plantío	Cosecha						mm	mm	mm	mm
			med	max	med	max					
Verano											
Soya	15-11	30-3	623	549	907	601	33	0,04	0,09	0,03	0,07
Maíz	15-11	30-3	623	500	907	601	34	0,04	0,12	0,03	0,10
Girasol	15-11	25-3	603	480	881	583	25	0,03	0,09	0,02	0,07
Sorgo	15-11	20-3	584	422	854	563	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Trigo	15-11	25-3	603	448	881	583	21	0,03	0,09	0,02	0,07
Pimentón	15-11	25-3	603	514	881	583	3	0,00	0,01	0,00	0,01
Invierno											
Soya	10-4	23-8	480	428	363	316	157	0,19	0,39	0,15	0,30
Maíz	10-4	23-8	480	395	363	316	146	0,18	0,40	0,14	0,31
Girasol	10-4	18-8	459	371	352	305	127	0,16	0,37	0,13	0,28
Sorgo	10-4	13-8	439	322	341	294	90	0,12	0,26	0,09	0,20
Trigo	10-4	18-8	459	346	352	305	115	0,15	0,37	0,11	0,28
Pimentón	10-4	18-8	459	400	352	305	128	0,16	0,33	0,13	0,26
Anual											
Pasto intenso			1.558	1.393	1.648	1.213	263	0,12	0,30	0,09	0,24
Citrus	-	-	1.558	1.059	1.648	1.213	50	0,02	0,09	0,02	0,07
Dátiles (palmas)	-	-	1.558	1.439	1.648	1.213	280	0,13	0,31	0,10	0,24
Caña	-	-	1.558	1.573	1.648	1.213	487	0,22	0,49	0,17	0,38
Algodón	15-11	29-5	831	707	1.137	780	64	0,05	0,14	0,04	0,11
Múltiple											
Vegetales (1)	15-11	18-2	460	417	671	437	2	0,00	0,01	0,00	0,01
Vegetales (2)	20-3	23-6	330	300	344	271	55	0,10	0,21	0,07	0,16
Vegetales (3)	1-7	4-10	398	369	235	215	155	0,27	0,38	0,21	0,30
Vegetales (4)	10-4	14-7	324	295	280	235	77	0,13	0,26	0,10	0,20

6.1.7. PM1, PM2, PM3: PIE DE MONTE

Las unidades de pie de monte presentan un relieve ligeramente ondulado con una orientación de sur a norte. Estas unidades, en contacto con la cordillera de los Andes, son definidas por una estructura geológica de origen tectónico; las fallas geológicas se encuentran entrecortadas por otras fallas de dirección oblicua. Estas unidades ocupan la zona de relieve ondulado comprendida entre el relieve montañoso y el relieve llano, es decir, una franja de unos 20 a 40 km de ancho que se extiende a lo largo de toda la región. La pendiente natural de la franja es de 10 y 15 por ciento, hacia el este, lo que influye en el sistema de escurrimiento de las aguas de lluvia. En la foto de la Figura 6.10. se puede observar el relieve montañoso, al fondo, y el relieve ondulado en la parte frontal.

Los cursos de agua que drenan la unidad PM1 (y la PM2 y PM3) nacen en el Sub-andino con una dirección oeste-este, e ingresan al pie de monte siguiendo la misma

dirección, para luego continuar por las llanuras aluviales del Río Grande y el Piraí. Después de recorrer algunos kilómetros sobre la llanura, su curso se transforma en un amplio abanico aluvial. Allí pierden todo su caudal por infiltración. Este es un factor de gran importancia para la recarga de la fuente de agua subterránea de la

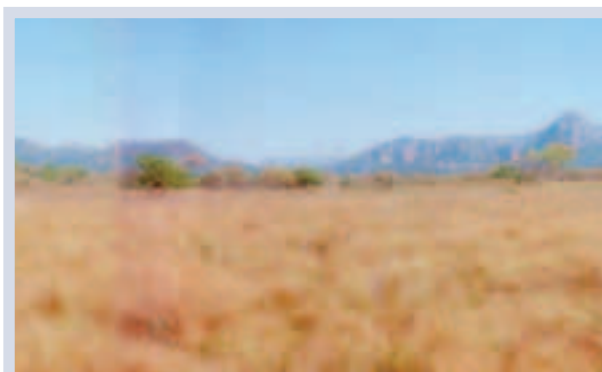


Figura 6.10. Foto de la unidad PM1 con el sub-andino en el fondo.

región. El sistema de drenaje de este sector es de corrientes efímeras, a excepción de los ríos Piraí, Parapetí y Grande, que son de régimen permanente.

Las colinas y los amplios valles que forman la unidad de pie de monte están compuestos por sedimentos de granulometría fina como arcillitas, margas intercaladas con delgadas capas de areniscas, y corresponden a la formación Chaco Inferior. Yacen sobre sedimentos de granulometría mucho más fina, formada por margas, arcillositas intercaladas con delgadas capas de caliza y areniscas, que corresponde a la formación Yecua, la que es considerada como un lecho impermeable.

Los perfiles litológicos logrados en las perforaciones realizadas en esta unidad con fines de abastecimiento humano, muestran la predominancia de una granulo-

metría fina frente a las arenas. Los pozos tienen un caudal de entre 2.000 y 5.000 l/h (de 0,56 a 1,39 l/s) principalmente en las sub-unidades PM1 y PM2; el nivel piezométrico llega a los 30 y 60 m, y el dinámico a los 140-220 m. La profundidad de los pozos varía entre 180 y 250 m. La excepción son los pozos ubicados en los valles o en los abanicos aluviales, que arrojaron caudales del orden de los 40.000 l/h (11,1 l/s) con un diámetro de 6 pulgadas y una profundidad de 160 m.

El sistema de drenaje en PM1 y PM2, de corrientes efímeras, parece estar muy influido por los determinantes mencionados anteriormente, como la inclinación de las capas hacia el este y la predominancia de sedimentos de granulometría fina. A todo esto se suman las bajas e irregulares precipitaciones y la alta evapotranspiración

Tabla 6.6.
Necesidades de agua para riego en la Zona PM1, para diferentes cultivos

Cultivo	Fecha de		Eto	ETo Cultivo	Prec Total	Prec Eff	Req Riego	Suministro de agua (l/s/ha)			
								Eficiencia 70%		Eficiencia 90%	
	Plantío	Cosecha	mm	mm	mm	mm	mm	med	max	med	max
Verano	15-11	30-3	730	644	496	406	238	0,29	0,50	0,23	0,39
Soya	15-11	30-3	730	586	496	406	198	0,24	0,51	0,19	0,40
Maíz	15-11	25-3	707	563	481	393	184	0,23	0,48	0,18	0,38
Girasol	15-11	20-3	685	495	465	380	128	0,17	0,35	0,13	0,27
Sorgo	15-11	25-3	707	525	481	393	164	0,21	0,48	0,16	0,38
Trigo	15-11	25-3	707	603	481	393	210	0,27	0,38	0,21	0,29
Pimentón											
Invierno	10-4	23-8	563	502	107	99	409	0,50	0,83	0,39	0,65
Soya	10-4	23-8	563	463	107	99	380	0,47	0,84	0,36	0,66
Maíz	10-4	18-8	538	435	107	99	346	0,44	0,80	0,34	0,62
Girasol	10-4	13-8	514	377	107	99	293	0,39	0,68	0,30	0,53
Sorgo	10-4	18-8	538	405	107	99	324	0,41	0,80	0,32	0,62
Trigo	10-4	18-8	538	468	107	99	370	0,47	0,76	0,37	0,59
Pimentón											
Anual			1.826	1.633	693	587	1.047	0,47	0,87	0,37	0,68
Pasto intenso			1.826	1.241	693	587	655	0,30	0,59	0,23	0,46
Citrus			1.826	1.687	693	587	1.101	0,50	0,87	0,39	0,68
Dátiles (palmas)			1.826	1.844	693	587	1.266	0,57	0,98	0,45	0,77
Caña	15-11	29-5	974	829	610	509	338	0,29	0,49	0,22	0,37
Algodón											
Múltiple	15-11	18-2	539	488	353	287	201	0,35	0,41	0,27	0,32
Vegetales (1)	20-3	23-6	387	351	164	147	205	0,36	0,54	0,28	0,42
Vegetales (2)	1-7	4-10	466	433	8	7	425	0,74	0,95	0,58	0,74
Vegetales (3)	10-4	14-7	380	346	107	99	248	0,43	0,67	0,34	0,52
Vegetales (4)	15-11	30-3	730	644	496	406	238	0,29	0,50	0,23	0,39

potencial, que afectan negativamente en la recarga de los acuíferos mediante el aporte de arroyos subterráneos. La falta de disponibilidad de agua superficial y subterránea en esta zona ha impedido su desarrollo económico: la única actividad que se observa es la ganadería a gran escala, la cual es atendida mediante la cosecha de agua de lluvia a través de pequeños atajados, como se muestra en la Figura 6.11. Necesidades de agua para riego en la zona PM1 se muestran en la tabla 6.6.

En la unidad PM3 las condiciones litológicas muestran un predominio del grano grueso, las precipitaciones son más altas, y hay mayor cobertura de vegetación natural. Estos factores favorecen probablemente a la infiltración del agua de lluvia, recargando de esta manera los acuíferos y estos a su vez aportan a los ríos de la zona norte. En la Figura 6.12. podemos apreciar la unidad de pie de monte PM3.



Figura 6.11. Pequeños atajados en la región PM1 y PM2.



Figura 6.12. Unidad de pie de monte PM3.

6.1.8. RG1, RG2, RG3: ALUVIALES ANTIGUOS DEL RÍO GRANDE

Los aluviales antiguos del Río Grande comprenden las unidades RG1, RG2 y RG3 y conforman el área más amplia de la región. Ésta se encuentra delimitada en el sector occidental por el Río Grande, en la parte oriental por el Parapetí y el San Julián, hacia el sur por las unidades GU y RP, y al norte por el límite del área de estudio.

En el corte estructural del subsuelo A-A' (presentado en la Figura 2.9 y Figura 2.11 de la sección 2.3.1), que tiene dirección este a oeste, ubicado a la altura de la localidad de Florida al sur de Santa Cruz, se observa una amplia cuenca geológica. Esta cuenca está formada por rocas sedimentarias cuya secuencia empieza desde la base, con las formaciones antiguas, para luego terminar en la superficie, con las formaciones jóvenes, las cuales son nombradas a continuación: formación Iguire de edad devónica; formación Ichoa y Cajones de edad cretácica; formación Petaca, Yecua y Chaco de edad terciaria y, finalmente, depósitos cuaternarios. Cada una de estas formaciones son descritas en forma resumida en la Tabla 2.2., donde se muestra el tipo de granulometría y de espesor. La formación Chaco y los depósitos cuaternarios reúnen las condiciones favorables para el almacenamiento de agua subterránea de calidad y en cantidad suficiente, ya que tienen un espesor de 1.500 m en su parte más profunda, debajo del cauce del Río Grande. La formación va disminuyendo por la parte oeste hasta desaparecer a unos pocos kilómetros, pasando la línea férrea Santa Cruz-Boyubibe; también disminuye de espesor, aunque en un grado menor, hacia el este, llegando hasta el Escudo Brasileño. Por la parte norte disminuye hasta llegar a los 500 m, tal como se puede apreciar en el corte estructural B-B de la sección 2.3.1. En general, en las zonas RG1, RG2, y RG3 la perforación hasta cerca de los 500 m resulta accesible económicamente, pero por debajo se encuentra la formación Yecua, que constituye un lecho impermeable de 300 m de espesor.

Por las consideraciones geológicas, litológicas y la secuencia estratigráfica anotadas anteriormente y por la forma de la estructura del subsuelo, las unidades RG forman parte de una estructura con condiciones para almacenar agua en grandes cantidades. Los factores hidrológicos también son favorables para la recarga de acuíferos. Por estas razones, estas unidades son definidas como las más importantes de la región.

Tabla 6.7.
Necesidades de agua para riego en diferentes cultivos de la zona RG1

Cultivo	Fecha de		ETo	ETo Cultivo	Prec Total	Prec Eff	Req Riego	Suministro de agua (l/s/ha)			
	Plantío	Cosecha						mm	mm	mm	mm
			med	max	med	max					
Verano											
Soya	15-11	30-3	751,11	662	538	434	235	0,29	0,49	0,22	0,38
Maíz	15-11	30-3	751,11	603	538	434	200	0,25	0,51	0,19	0,40
Girasol	15-11	25-3	728,02	580	522	420	184	0,23	0,48	0,18	0,37
Sorgo	15-11	20-3	704,5	509	505	406	128	0,17	0,33	0,13	0,26
Trigo	15-11	25-3	728,02	540	522	420	165	0,21	0,48	0,16	0,37
Pimentón	15-11	25-3	728,02	621	522	420	200	0,25	0,38	0,20	0,29
Invierno											
Soya	10-4	23-8	579,84	517	214	196	332	0,41	0,69	0,32	0,54
Maíz	10-4	23-8	579,84	476	214	196	306	0,38	0,70	0,29	0,55
Girasol	10-4	18-8	554,37	448	208	191	277	0,35	0,66	0,27	0,51
Sorgo	10-4	13-8	529,46	389	203	186	226	0,30	0,53	0,23	0,40
Trigo	10-4	18-8	554,37	417	208	191	254	0,32	0,65	0,25	0,51
Pimentón	10-4	18-8	554,37	482	208	191	291	0,37	0,62	0,29	0,48
Anual											
Pasto intenso			1.879,94	1.681	956	807	875	0,40	0,67	0,31	0,52
Citrus			1.879,94	1.278	956	807	471	0,21	0,38	0,17	0,30
Dátiles (palmas)			1.879,94	1.737	956	807	930	0,42	0,67	0,33	0,52
Caña			1.879,94	1.898	956	807	1.108	0,50	0,84	0,39	0,65
Algodón	15-11	29-5	1.002,9	853	684	561	321	0,27	0,50	0,21	0,39
Múltiple											
Vegetales (1)	15-11	18-2	554,48	503	391	312	190	0,33	0,39	0,26	0,31
Vegetales (2)	20-3	23-6	398,68	362	215	189	173	0,30	0,45	0,23	0,35
Vegetales (3)	1-7	4-10	480,01	446	119	113	333	0,58	0,75	0,45	0,59
Vegetales (4)	10-4	14-7	390,91	357	172	155	201	0,35	0,52	0,27	0,41



Figura 6.13. Fotos de la unidad RG2 cerca de la línea férrea Santa Cruz – Puerto Quijarro (Puerto Suárez).

La unidad RG1 tiene un déficit más alto de lluvia y un potencial de evapotranspiración más alto que las unidades RG2 o RG3. El análisis de potencial de riego muestra que esta región sería la más necesitada, conforme a los requerimientos presentados en la Tabla 6.7. Podemos

observar que para satisfacer las necesidades de un cultivo como la soya se necesitarían 235 mm de agua durante el verano, lo que significa un suministro de un caudal medio de 0,29 l/s/ha, si se utiliza un sistema de riego con eficiencia de 70%.

La zona RG2 es la más apropiada para riego a gran escala, habiendo suficiente pero no excesiva necesidad de él, según los datos climáticos históricos. En esta zona se justifica el uso de sistemas de riego extensivos como el de pivote central. Los sistemas laterales también serían ideales para esta zona, en la que predominan los terrenos rectangulares. La disponibilidad de agua subterránea es suficiente para el riego extensivo.

La unidad RG3 también es apta para éste. Sólo que los requerimientos de riego son menores en esta zona, porque la lluvia es históricamente mayor. Esto puede permitir un uso más eficiente de los sistemas de riego, con menos consumo de combustible por hectárea. En esta zona se recomienda el uso de sistemas móviles, los cuales

Tabla 6.8.
Necesidades de agua para riego en diferentes cultivos de la zona RG2

Cultivo	Fecha de		ET _o	ET _o Cultivo	Prec Total	Prec Eff	Req Riego	Suministro de agua (l/s/ha)			
	Plantío	Cosecha						mm	mm	mm	mm
			med	max	med	max					
Verano											
Soya	15-11	30-3	708	625	597	465	177	0,22	0,38	0,17	0,29
Maíz	15-11	30-3	708	569	597	465	150	0,18	0,41	0,14	0,32
Girasol	15-11	25-3	687	547	578	450	136	0,17	0,37	0,13	0,29
Sorgo	15-11	20-3	664	480	560	435	83	0,11	0,24	0,09	0,19
Trigo	15-11	25-3	687	510	578	450	121	0,15	0,37	0,12	0,29
Pimentón	15-11	25-3	687	585	578	450	135	0,17	0,28	0,13	0,22
Invierno											
Soya	10-4	23-8	546	487	254	230	275	0,34	0,60	0,26	0,46
Maíz	10-4	23-8	546	449	254	230	253	0,31	0,61	0,24	0,47
Girasol	10-4	18-8	522	422	247	224	227	0,29	0,56	0,22	0,44
Sorgo	10-4	13-8	499	366	240	217	181	0,24	0,44	0,19	0,35
Trigo	10-4	18-8	522	393	247	224	209	0,27	0,56	0,21	0,44
Pimentón	10-4	18-8	522	454	247	224	233	0,30	0,53	0,23	0,41
Anual											
Pasto intenso			1.772	1.585	1.079	893	692	0,31	0,58	0,24	0,45
Citrus	-	-	1.772	1.204	1.079	893	318	0,14	0,31	0,11	0,24
Dátiles (palmas)	-	-	1.772	1.637	1.079	893	745	0,34	0,58	0,26	0,45
Cana	-	-	1.772	1.789	1.079	893	931	0,42	0,73	0,33	0,57
Algodón	15-11	29-5	946	805	761	605	246	0,21	0,40	0,16	0,31
Múltiple											
Vegetales (1)	15-11	18-2	523	474	435	335	139	0,24	0,29	0,19	0,22
Vegetales (2)	20-3	23-6	376	341	245	210	131	0,23	0,37	0,18	0,29
Vegetales (3)	1-7	4-10	452	420	144	138	282	0,49	0,66	0,38	0,51
Vegetales (4)	10-4	14-7	368	336	201	178	158	0,27	0,44	0,21	0,34

pueden ser utilizados para la aplicación de agua suplementaria a un mayor número de hectáreas.

6.1.9. RP: ALUVIALES DEL RÍO PARAPETÍ

Esta unidad ocupa ambas márgenes del río Parapetí. Forma una franja de aproximadamente 28 km de ancho y 87 km de largo, desde el ingreso del río a la llanura a la altura de la localidad de San Antonio, hasta la comunidad de Guarirenda. A partir de este punto, el río no tiene un curso definido, el agua fluye sobre la superficie del terreno siguiendo una dirección noreste, hasta abandonar la cuenca a la altura de la serranía de Chiquitos, dando lugar a los Bañados de Izozog (unidad BI), para luego descargar sus aguas en la Laguna Concepción.

Esta franja está formada por depósitos cuaternarios compuestos de arenas, gravas y limos de espesor de 1 a

25 m, e intercaladas con delgadas capas de arcilla de 1 a 18 m, los cuales fueron transportados por el río Parapetí desde la cuenca alta y depositados sobre la formación Chaco Superior, cuyas características son similares a las del cuaternario.

Los pozos construidos en ambos márgenes del río para el abastecimiento de las comunidades indígenas arrojan caudales hasta 20.000 l/h (5,56 l/s) para un pozo de 6 pulgadas de diámetro y de 70 a 100 metros de profundidad. Los altos caudales encontrados están directamente relacionados con las características del acuífero, que en este caso es recargado por las aguas del río Parapetí, principalmente.

La necesidad de riego en esta zona es intensa; sin embargo, los costos son altos porque los requerimientos de agua resultan excesivos. El riego solamente sería viable si se usaran sistemas eficientes y se plantarían cultivos de

Tabla 6.9.
Necesidades de agua para riego en diferentes cultivos de la zona RP

Cultivo	Fecha de		ETo	ETo Cultivo	Prec Total	Prec Eff	Req Riego	Suministro de agua (l/s/ha)			
	Plantío	Cosecha						mm	mm	mm	mm
			med	max	med	max					
Verano											
Soya	15-11	30-3	794	701	429	362	339	0,42	0,65	0,32	0,50
Maíz	15-11	30-3	794	638	429	362	287	0,35	0,67	0,27	0,51
Girasol	15-11	25-3	770	613	416	350	265	0,34	0,64	0,26	0,50
Sorgo	15-11	20-3	745	539	403	339	205	0,27	0,49	0,21	0,38
Trigo	15-11	25-3	770	571	416	350	236	0,30	0,64	0,23	0,50
Pimentón	15-11	25-3	770	656	416	350	306	0,39	0,53	0,30	0,41
Invierno											
Soya	10-4	23-8	612	546	103	96	450	0,55	0,91	0,43	0,71
Maíz	10-4	23-8	612	503	103	96	416	0,51	0,92	0,40	0,71
Girasol	10-4	18-8	586	473	103	96	381	0,48	0,87	0,38	0,68
Sorgo	10-4	13-8	559	410	103	96	323	0,43	0,74	0,33	0,58
Trigo	10-4	18-8	586	441	103	96	355	0,45	0,87	0,35	0,68
Pimentón	10-4	18-8	586	510	103	96	414	0,53	0,83	0,41	0,65
Anual											
Pasto intenso			1.987	1.778	634	552	1.225	0,56	0,88	0,43	0,69
Citrus			1.987	1.351	634	552	799	0,36	0,58	0,28	0,45
Dátiles (palmas)			1.987	1.836	634	552	1.284	0,58	0,89	0,45	0,69
Caña			1.987	2.006	634	552	1.455	0,66	1,07	0,51	0,83
Algodón	15-11	29-5	1.060	902	533	457	451	0,38	0,66	0,30	0,51
Múltiple											
Vegetales (1)	15-11	18-2	587	532	313	262	270	0,47	0,55	0,37	0,43
Vegetales (2)	20-3	23-6	421	382	150	136	246	0,43	0,60	0,33	0,46
Vegetales (3)	1-7	4-10	507	471	24	23	448	0,78	0,95	0,61	0,74
Vegetales (4)	10-4	14-7	413	377	103	96	281	0,49	0,72	0,38	0,56

alto valor. El riego a pequeña escala puede ser viable para el consumo local.

6.1.10. SC: ARENALES DEL SUR DE SANTA CRUZ

La zona SC, que queda inmediatamente al sur de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, es una región que está siendo utilizada extensivamente para cultivos y ganadería, tal como se puede observar en la Figura 6.14. Esta región se beneficiaría significativamente de proyectos de riego extensivos que utilizaran agua subterránea. Los requerimientos típicos de agua para los cultivos de verano varían de aproximadamente 44 mm para sorgo a 124 mm para soya, conforme a las medias históricas, las cuales varían de año en año. Esta demanda requiere de 0,06 a 0,15 l/s/ha de agua para sistemas de riego con eficiencia de 70%. Esto vuelve al riego económicamente viable, ya que la inversión en equipos y combustibles puede ser menor. Sin embargo

el requerimiento de agua en invierno es casi del doble. Factores como la fertilidad de los suelos, la distribución, el transporte y los mercados también pueden influir en la viabilidad económica. Cada caso particular tendrá que analizarse por separado.



Figura 6.14. Zona SC sur de la ciudad de Santa Cruz.

Tabla 6.10.
Necesidades de agua para riego en diferentes cultivos de la zona SC

Cultivo	Fecha de		ETo	ETo Cultivo	Prec Total	Prec Eff	Req Riego	Suministro de agua (l/s/ha)			
	Plantío	Cosecha						Eficiencia 70%		Eficiencia 90%	
			mm	mm	med	max	med	max			
Verano											
Soya	15-11	30-3	708	625	742	538	124	0,15	0,28	0,12	0,22
Maíz	15-11	30-3	708	569	742	538	106	0,13	0,32	0,10	0,25
Girasol	15-11	25-3	687	547	720	521	92	0,12	0,28	0,09	0,22
Sorgo	15-11	20-3	664	480	697	503	44	0,06	0,15	0,05	0,12
Trigo	15-11	25-3	687	510	720	521	84	0,11	0,28	0,08	0,21
Pimentón	15-11	25-3	687	585	720	521	74	0,09	0,19	0,07	0,15
Invierno											
Soya	10-4	23-8	546	487	302	268	250	0,31	0,56	0,24	0,44
Maíz	10-4	23-8	546	449	302	268	231	0,28	0,57	0,22	0,45
Girasol	10-4	18-8	522	422	294	260	204	0,26	0,53	0,20	0,41
Sorgo	10-4	13-8	499	366	287	253	158	0,21	0,41	0,16	0,32
Trigo	10-4	18-8	522	393	294	260	187	0,24	0,53	0,19	0,41
Pimentón	10-4	18-8	522	454	294	260	207	0,26	0,50	0,20	0,39
Anual											
Pasto intenso			1.772	1.585	1.318	1.035	550	0,25	0,53	0,19	0,41
Citrus	-	-	1.772	1.204	1.318	1.035	232	0,11	0,26	0,08	0,21
Dátiles (palmas)	-	-	1.772	1.637	1.318	1.035	603	0,27	0,53	0,21	0,41
Cana	-	-	1.772	1.789	1.318	1.035	820	0,37	0,70	0,29	0,54
Algodón	15-11	29-5	946	805	942	701	179	0,15	0,31	0,12	0,24
Múltiple											
Vegetales (1)	15-11	18-2	523	474	544	388	86	0,15	0,20	0,12	0,15
Vegetales (2)	20-3	23-6	376	341	297	245	103	0,18	0,33	0,14	0,26
Vegetales (3)	1-7	4-10	452	420	167	159	261	0,45	0,62	0,35	0,48
Vegetales (4)	10-4	14-7	368	336	242	208	130	0,23	0,40	0,18	0,31

La disponibilidad de agua subterránea en esta zona no sería una limitación para el riego intenso, conforme a los datos recolectados de los pozos. En el Anexo, sección 10.4, puede observarse la ubicación y las características de algunos pozos de la región, datos que indican la disponibilidad de agua subterránea.

6.1.11. DISPONIBILIDAD Y DÉFICIT DE AGUA EN CADA ZONA

Sobre la base de los datos climáticos y la información hidrológica de la región, en la Tabla 6.11. se presenta un resumen simple de la disponibilidad y déficit de agua, la necesidad de riego, y el tipo de sistema recomendado para cada zona. La disponibilidad de agua, tanto superficial como subterránea, se presenta en términos de cantidades altas (abundantes), medias y bajas (limitadas). El déficit se calcula simplemente por medio

de la diferencia entre evapotranspiración potencial menos la precipitación media durante el año y se presenta en valores de mm de agua. La necesidad de riego es una simple reflexión a partir del déficit, y se clasifica en alta, media y baja. Finalmente, se hace una recomendación general sobre cuál sistema de riego es apropiado para la zona. El propósito es comparativo, ya que así es posible mostrar la diversidad de las condiciones del agua en la región.

Para definir mejor la disponibilidad de agua subterránea en cada zona, en la Tabla 6.12. se presenta los posibles caudales y las profundidades a las que se puede extraer agua mediante pozos. Los valores fueron estimados en base a los datos litológicos de exploración de pozos en las diferentes zonas, y tomando en cuenta una perforación técnicamente ideal. Obviamente, pueden presentarse grandes variaciones.

Tabla 6.11.
Comparación general de la disponibilidad y déficit de agua y necesidades de riego para la región

Zona	Disponibilidad de agua superficial	Disponibilidad de agua subterránea	Déficit (ETo – Prec. Media) en mm	Necesidad de riego	Sistema de riego recomendado
AP	Baja	Baja	1.158	Alta	Pequeño - comunitario
BI	Alta	Media	921	Alta	Pequeño -limitado
GU	Baja	Alta	1.198	Alta	Pequeño
IG1	Alta	Alta	735	Alta	Superficial - limitado
IG2	Alta	Alta	296	Media	Superficial - limitado
IG3	Alta	Alta	-30	Baja	Suplementario
PI1	Alta	Alta	187	Media	Grande – agro industrial
PI2	Alta	Alta	-214	Baja	Suplementario
PI3	Alta	Alta	-396	Baja	Suplementario
PM1	Baja	Baja	1.015	Alta	Pequeño
PM2	Baja	Media	484	Media	Medio - Pequeño
PM3	Baja	Media	-179	Baja	Suplementario medio
RG1	Baja	Media - Alta	758	Alta	Grande
RG2	Baja	Alta	505	Alta	Grande – agro industrial
RG3	Baja	Alta	199	Media	Grande
RP	Media – alta	Media	1.178	Alta	Pequeño
SC	Baja	Media	350	Media	Grande

Tabla 6.12.
Disponibilidad de agua subterránea mediante perforación de pozos

Zonas	Prof. del pozo	Diámetro del pozo	Caudal l/s
PI1, PI2, PI3	150-200	10-12	70-100
RG2, RG3	150-200	10-12	60-100
RG1, RG2	150-200	10-12	50-80
PM2, PM3	150-350	6-8	10-30
PM1	200-400	6-8	5-20
BI –noreste, AP	150-300	6-8	5-20
BI – Parapetí	150-200	10-12	40-100
RP	150-200	10-12	40-70

6.2. MODELOS ECONÓMICOS Y FACTIBILIDAD DEL RIEGO

En esta sección presentamos algunos ejemplos de riego en diferentes zonas de la región. Estos ejemplos son representativos de las zonas y fueron formulados para demostrar al lector los modelos económicos del riego. Hacemos una comparación económica de variables de riego para ilustrar la factibilidad o no del riego extensivo en la llanura cruceña. De cualquier modo, recomendamos al lector el uso del modelo económico de riego presentado en el CD anexo, si quiere hacer sus propios cálculos.

6.2.1. EJEMPLO DE RIEGO EN LA ZONA DEL PARAPETÍ

El primer paso del análisis es descubrir las necesidades de agua del cultivo. En este caso se utiliza la soya como ejemplo. La Tabla 6.13. muestra las necesidades de riego para el área de San Antonio de Parapetí, que fueron extraídas de los cálculos hechos con el programa CROPWAT e información meteorológica de la zona.

Los resultados muestran que para cultivar soya de verano en la zona de San Antonio del Parapetí se requiere 253 mm de riego. Con una eficiencia de aplicación de agua de 0,75 necesitaríamos 337 mm de riego para el

Tabla 6.13.

Necesidad de riego de soja de verano en San Antonio del Parapetí – calculado con programa de riego de la FAO – CROPWAT

Fecha	Humedad total	Humedad disponible para uso	Precipitación total	Precipitación efectiva	ETc	ETc/ETm	Déficit de humedad del suelo	Intervención	Riego neto
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(Días)	(mm)
19/11	35,6	18,1	11,2	11,2	2,8	100,0%	2,9		
24/11	42,6	22,1	13,0	13,0	2,8	100,0%	4,0		
29/11	49,6	26,2	14,9	14,9	2,8	100,0%	3,2		
4/12	56,6	30,5	16,8	14,5	2,8	100,0%	2,8		
9/12	63,6	34,9	18,5	15,8	3,7	100,0%	3,7		
14/12	70,6	39,4	20,0	20,0	4,5	100,0%	4,6		
19/12	77,6	44,1	21,2	21,2	5,3	100,0%	8,5		
24/12	84,6	48,9	22,2	22,2	6,1	100,0%	15,5		
29/12	91,6	53,9	13,6	13,6	6,9	100,0%	35,0		
1/1	95,8	56,9	21,9	21,9	7,3	100,0%	34,7		
5/1	100,0	60,0	0,0	0,0	7,6	100,0%	65,0	51	65,0
6/1	100,0	60,0	22,4	0,0	7,6	100,0%	7,6		
11/1	100,0	60,0	22,8	22,8	7,5	100,0%	22,6		
16/1	100,0	60,0	23,3	23,3	7,5	100,0%	36,8		
20/1	100,0	60,0	0,0	0,0	7,4	100,0%	66,6	15	66,6
21/1	100,0	60,0	23,6	0,0	7,4	100,0%	7,4		
26/1	100,0	60,0	23,8	23,8	7,3	100,0%	20,3		
31/1	100,0	60,0	23,9	23,9	7,2	100,0%	32,6		
4/2	100,0	60,0	0,0	0,0	7,1	100,0%	61,2	15	61,2
5/2	100,0	60,0	23,9	0,0	7,1	100,0%	7,1		
10/2	100,0	60,0	23,8	23,8	7,0	100,0%	18,4		
15/2	100,0	60,0	23,5	23,5	6,9	100,0%	29,5		
20/2	100,0	60,0	23,1	23,1	6,7	100,0%	40,3		
23/2	100,0	60,0	0,0	0,0	6,6	100,0%	60,3	19	60,3
25/2	100,0	60,0	22,5	6,6	6,6	100,0%	6,6		
2/3	100,0	60,0	21,7	21,7	6,4	100,0%	17,4		
7/3	100,0	63,6	20,9	20,9	5,9	100,0%	27,4		
12/3	100,0	69,6	19,9	19,9	5,0	100,0%	34,5		
17/3	100,0	75,6	18,8	18,8	4,2	100,0%	38,5		
22/3	100,0	81,6	17,6	17,6	3,5	100,0%	39,9		
27/3	100,0	87,6	16,3	16,3	2,8	100,0%	38,8		
Total			544,9	454,2	751,1	100,0%			253,0

verano. Para el riego de 50 ha necesitaríamos una bomba con capacidad para 50 L/s (litros por segundo), o sea, un motor de 50 hp (37,5 kW) que pudiese bombear 180.000 L/h (litros por hora) de agua.

Con un pozo de 50 L/s y un sistema de riego por pivote central tendríamos que regar las 50 ha por 936 horas (39 días).

La energía total requerida para este sistema de riego sería de $37,5 \text{ kWh} * 936 \text{ h} = 35.100 \text{ kWh}$. Asumimos una eficiencia total del sistema de 18% (para GLP, gas natural, gasolina o diesel), por lo que necesitaríamos 195.000 kWh

Los costos de energía serían los siguientes (usando valores de la Tabla 5.5):

- costo de energía usando gasolina = $195.000 * 44,49/1.000 = \$us. 8.676$
- costo de energía usando diesel = $195.000 * 37,14/1.000 = \$us. 7.242$
- costo de energía usando gas natural = $195.000 * 21,24/1.000 = \$us. 4.142$
- costo de energía usando GLP con subsidio = $195.000 * 21,17/1.000 = \$us. 4.128$

El costo energético por hectárea usando GLP sería: \$us. 82,56

Si el precio de soya por tonelada es: T = \$us. 160

- producción de soya sin riego (asumimos un año con lluvia adecuada): 1,5 T/ha = \$us. 240.
- producción de soya con riego (tentativamente): 3 T/ha = \$us. 480.

Podemos ver que la producción de soya sin riego de 1,5 T/ha no sería económicamente viable si los costos de producción fueran de entre 200 y 240 dólares por hectárea. Si la producción se incrementara a 3 T/ha dejaría aproximadamente 240 \$us./ha para pagar los costos del riego. De este valor podemos disminuir el costo energético que es de 82,56 \$us./ha y obtener aproximadamente 157 \$us./ha. Los \$us. 157 tendrían que cubrir los costos de los equipos de riego, la perforación de pozos, las bombas, la mano de obra, la administración y los costos financieros. Infelizmente, estos costos sobrepasan las ganancias, lo que torna inviable el riego extensivo de la soya de verano en esta zona (a no ser que la producción superara las 4 T/ha). De la misma forma, el análisis con el programa CROPWAT de la zona RP muestra que los requerimientos de agua históricos para cultivos de soya en verano sobrepasan los 300 mm, lo que inviabiliza el riego.

En la Tabla 6.14. mostramos los requerimientos de riego para soya de verano en la zona RP. Se usa intervalos de 10 días y son calculados los valores de ETo, Kc, los requerimientos de agua, la precipitación, los requerimientos de riego y de bombeo del agua. En este ejemplo se plantó la soya un 15 de noviembre y se la cosechó aproximadamente un 25 de marzo. El requerimiento total de riego fue de 315 mm.

En las regiones del sur, las grandes plantaciones de soya, trigo, etc., con riego por aspersión, no serían económicamente viables. Los costos de energía para el funcionamiento de las bombas, los costos fijos de los equipos y los de perforación de los pozos tornarían económicamente inadecuado a este sistema. La excepción se daría en caso de que los equipos de riego, la perforación de pozos y la construcción de canales de riego superficial fueran donados a las comunidades. Para minimizar los costos energéticos, podría usarse el bombeo de viento.

El riego de los cultivos de alto valor y de pequeña escala podría ser económicamente viable, si se usara sistemas económicos como el de caudal continuo con agua del río Parapetí o el de micro riego. Con riego se puede producir en épocas en las que el precio y la demanda son altos. Vegetales y frutales de alto valor podrían ser ren-

Tabla 6.14.
Ejemplo de análisis de riego con programa CROPWAT para Soya Verano en zona RP

Fecha Día - mes	ETo	Kc	Requerimiento de Agua	Precipitación Total	Precipitación Efectiva	Req. Riego	Req. Bombeo
	(mm/periodo)	Coficiente		(mm/periodo)			(l/s/ha)
15-11	70,56	0,4	28,22	21,36	18,96	9,26	0,15
25-11	70,56	0,4	28,22	28,74	24,29	3,93	0,06
5-12	70,01	0,54	37,61	35,92	29,34	8,28	0,14
15-12	68,93	0,79	54,26	41,66	33,2	21,06	0,35
25-12	67,3	1,04	69,78	44,52	34,89	34,89	0,58
4-01	65,83	1,15	75,71	44,86	34,96	40,75	0,67
14-01	64,64	1,15	74,34	46,56	36,19	38,15	0,63
24-01	63,08	1,15	72,54	47,64	37,04	35,49	0,59
3-02	61,18	1,15	70,36	47,81	37,31	33,06	0,55
13-02	59,02	1,15	67,88	46,88	36,82	31,06	0,51
23-02	56,67	1,15	65,17	44,77	35,5	29,67	0,49
5-03	54,19	1,01	54,63	41,52	33,35	21,28	0,35
15-03	51,69	0,75	38,67	37,27	30,44	8,22	0,14
25-03	24,92	0,55	13,76	16,8	13,94	0	0
Total	848,59		751,14	546,3	436,23	315,09	[0,39]

tables si se usara el micro riego para abastecer el mercado local o regional.

Sin embargo, un estudio de mercado es indispensable para prever el consumo de tales productos y planear su exportación. Podría encontrarse mercados en Argentina y en Chile, siendo Argentina más interesante por la existencia de una línea férrea directa que lleva a la frontera de ese país.

6.2.2. COMPARACIÓN DE VARIABLES ECONÓMICAS PARA DETERMINAR LA FACTIBILIDAD DEL RIEGO EXTENSIVO EN LAS ZONAS RP, RG1, RG2 Y RG3

Usando el modelo económico de riego creado para este estudio, hacemos comparaciones entre variables económicas, para estudiar la factibilidad del riego extensivo utilizando el sistema de pivote central. Para este análisis comparativo se utilizó como base las variables presentadas en la Tabla 6.15., que corresponden a una propiedad de 200 ha en la zona RG2 sur (comparable en parte a las zonas RG1 y SC), con una necesidad de riego de 180

mm en el verano y de 280 mm en el invierno, que utiliza el sistema de pivote central y se aprovisiona de agua subterránea mediante el bombeo de un pozo típico que produce 80 L/s de agua. La rotación del cultivo es: soya en el verano y trigo en el invierno. La productividad estimada, de 4 T/ha de soya y 3 T/ha de trigo bajo condiciones de riego ideal; y el precio de \$us. 145 y \$us. 180 por tonelada, respectivamente. Los costos financieros fueron divididos en dos: 1) gastos fijos para equipos de riego (se pagan a largo plazo; en este caso, 5 años con una tasa de 10%), y 2) gastos variables (como costos de combustibles, etc.) que se pagan cada año (en este ejemplo, con una tasa de interés del 15%). El combustible usado es GLP con subsidio.

Los resultados de la aplicación del modelo económico a estas variables se presentan en la Tabla 6.16., en la que se demuestra la factibilidad del riego en este ejemplo. El ingreso neto anual sería de \$us. 28.710,04, es decir, \$us. 143,55 por hectárea, con una rentabilidad de 12,83% al año. Los costos fijos (equipos, etc.) serían casi el doble de los costos variables (energía, mano de obra, etc.).

Tabla 6.15
Descripción de variables utilizadas en ejemplo de factibilidad económica de riego

Datos generales			
área de cultivos	ha	200	
riego necesario verano	mm	180	
riego necesario invierno	mm	280	
caudal de agua	l/s	80	cantidad
profundidad de pozo	m	150	1
tamaño de bomba	kWh	50	1
costo de una bomba	\$us	\$us 8.000,00	
costo tubos, etc.	\$us	\$us 5.000,00	
Financiero			
tiempo de inversión	años	5	
tasa a fijos - riego	% anual	10	
tasa a variables	% anual	15	
Sumario de datos			límite
riego verano	horas	1250	2.500
riego invierno	horas	1944	2.500
cultivo verano		soya	
cultivo invierno		trigo	
T/ha con riego - verano	T/ha	4	
T/ha con riego - invierno		3	
precio cultivo - verano	\$us/T	\$us 145,00	
precio cultivo - invierno	\$us/T	\$us 180,00	
sistema de riego		Pivote central/lateral	
Energía		GLP - con subsidio	
Costo de perforación de pozo	\$us/m	\$us 190,00	

Usando este ejemplo como base, se hizo comparaciones para determinar la importancia de las variables en la factibilidad de los proyectos:

1. Se comparó el costo de usar diferentes combustibles versus los ingresos que es posible lograr en la agricultura bajo riego con un sistema pivote central (Figura 6.15). Se intenta determinar cuál combustible sería, en términos económicos, el más adecuado para el riego.
2. Se comparó los ingresos generados por la agricultura bajo riego con sistema de pivote central respecto al tamaño del área bajo riego (Figura 6.16).

Esta comparación se hizo para saber cuál sería el tamaño ideal de una unidad de riego con pozo, pivote central, etc.

3. Se comparó los ingresos generados por la agricultura bajo riego con sistema de pivote central respecto a los años de plazo concedidos para el pago de créditos para la compra de equipos de riego, con una tasa financiera de 10% anual (Figura 6.17.) Esta comparación sirve para calcular la influencia del plazo de pago en la factibilidad del proyecto.
4. Se comparó los ingresos generados por la agricultura bajo riego con sistema de pivote central res-

Tabla 6.16
Ejemplo de resultados económicos de factibilidad de riego

Costos - Riego				
	Costo total (\$us)	Costo anual (\$us)	Costo por hectárea (\$us)	
Costos Fijos	241.500,00	72.450,00	362,25	(incluye financiamiento)
Sistema de riego (C)	200.000,00	60.000,00	300,00	
Suministro de agua (E)	28.500,00	8.550,00	42,75	
Bombas/motores	8.000,00	2.400,00	12,00	
Tubos/mangueras/otros	5.000,00	1.500,00	7,50	
	Costo por temporada (\$us)	Costo por hectárea		
Costos Variables - verano	14.407,67	72,04	(Incluye fin.)	
Energía (D)	12.028,41	60,14		
Mano de obra / reparos	500,00	2,50		
Costos Variables - invierno	22.092,49	110,46	(Incluye fin.)	
Energía (D)	18.710,86	93,55		
Mano de obra / reparos	500,00	2,50		
Resultados				
	Anuales	Por hectárea		
Resultado - Ingreso Neto	28.710,04	143,55		
Ingreso Neto - verano	15.626,83	78,13		
Ingreso Neto - invierno	13.083,21	65,42		
Rentabilidad (%)	-	12,82%		
Rentabilidad - verano	-	13,47%		
Rentabilidad - invierno	-	12,11%		
Costos de producción	86.339,80	431,70		
Producción - verano	49.740,50	248,70		
Producción - invierno	36.599,30	183,00		
Costos de riego	108.950,16	544,75		
Costos fijos + var. Verano	50.632,67	253,16		
Costos fijos + var. Invierno	58.317,49	291,59		
Ingreso con riego	224.000,00	1.120,00		
Ingreso - verano	116.000,00	580,00		
Ingreso - invierno	108.000,00	540,00		

pecto a la tasa de interés anual, a cinco años plazo (Figura 6.18.) Esta comparación sirve para calcular la influencia de la tasa de interés en la factibilidad del riego.

- Se comparó los ingresos generados por la agricultura bajo riego con sistema de pivote central en las zonas RP, RG1, RG2, y RG3, que se extienden de sur a norte en la llanura cruceña (Figura 6.19.) Esta comparación sirve para estudiar la viabilidad del riego extensivo en la llanura cruceña, del sur al norte.

En la Figura 6.15 se mantienen todas las variables de riego iguales, conforme al ejemplo base, y únicamente se varía el tipo de combustible utilizado. Podemos observar que tanto el gas natural como el GLP con subsidio ofrecen las mejores ventajas. El uso de gasolina torna el riego inviable y el uso de GLP sin subsidio (o sea con un precio de aproximadamente Bs.35 por garrafa) lo vuelve sólo marginalmente viable.

En la Figura 6.16. se mantienen todas las variables de riego del ejemplo base y únicamente se varía el área de riego. El área máxima que se puede irrigar con esta configuración de sistemas de riego es de 250 ha. Más requeriría una fuente de agua mayor o equipos adicionales. Esto demuestra que: 1) se tiene que maximizar el uso del sistema para que éste sea rentable, y 2) que en general en la llanura cruceña los sistemas de pivote central son ideales para unidades de riego de 200 ha, con un margen para posibles incrementos en los requerimientos de agua u otros eventos.

En la Figura 6.17. se mantienen todas las variables de riego del ejemplo base y únicamente se varía los años de plazo. El propósito de esta comparación es mostrar que se requiere créditos con plazos de por lo menos cinco años para tornar el riego económicamente viable (y esto suponiendo una tasa de 10%).

En la Figura 6.18. se mantienen todas las variables de riego del ejemplo base y únicamente se varía la tasa

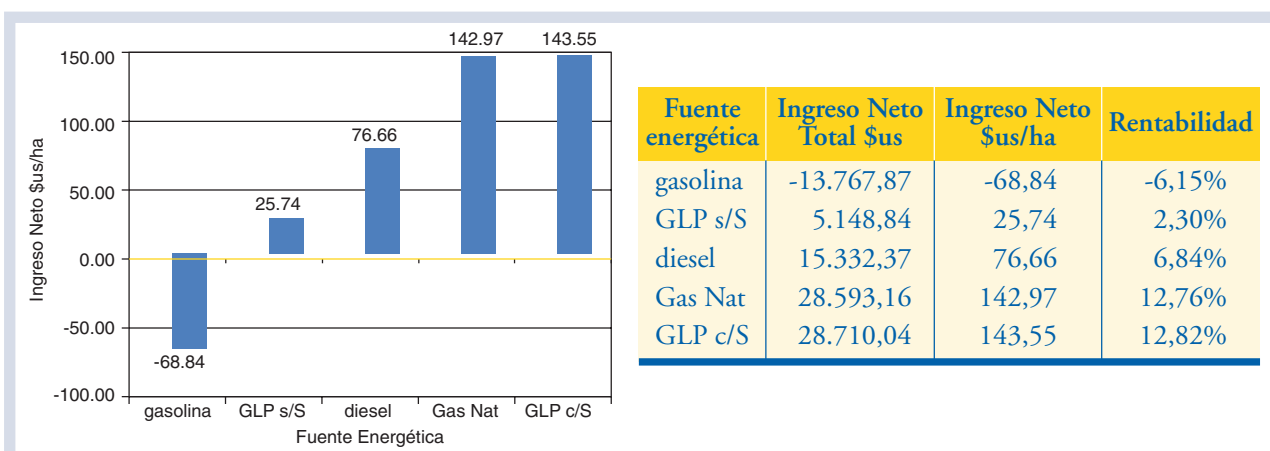


Figura 6.15. Comparación de uso de diferentes combustibles versus posibles ingresos de agricultura bajo riego con sistema pivote central.

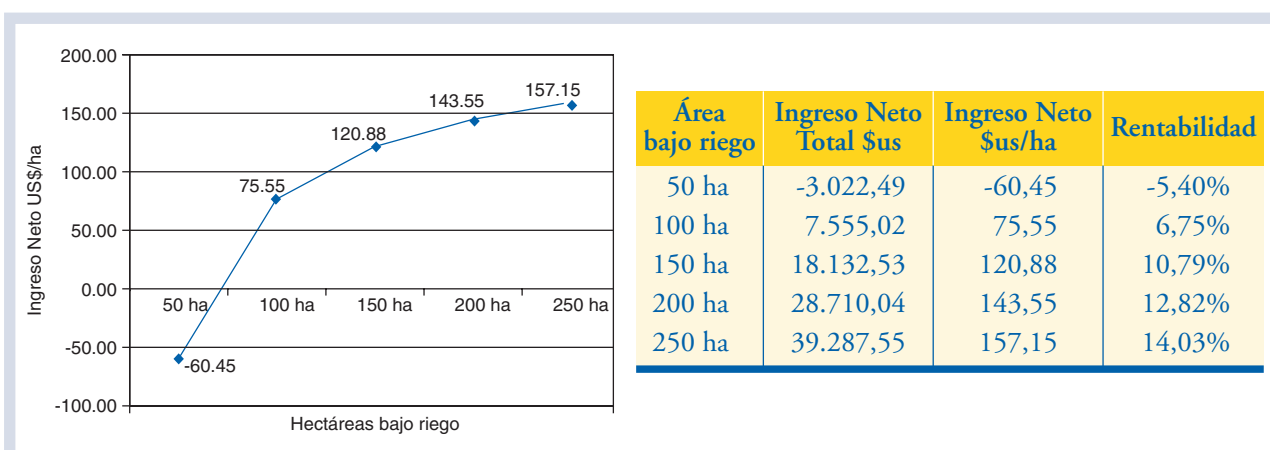
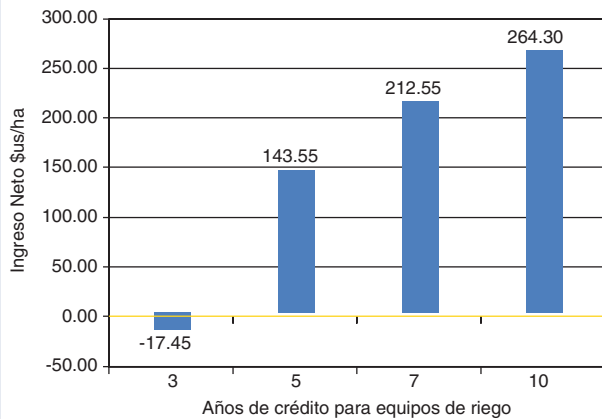
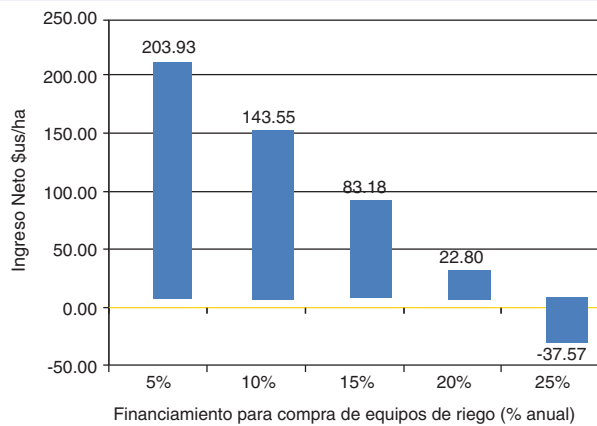


Figura 6.16. Ingresos de agricultura bajo riego con sistema de pivote central en función al tamaño de área bajo riego.



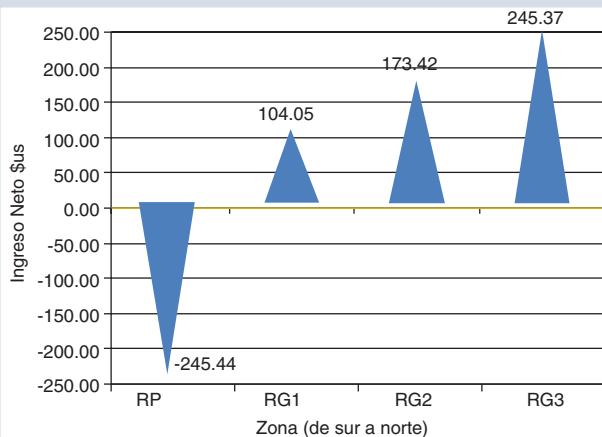
Años plazo a 10% anual	Ingreso Neto Total \$us	Ingreso Neto \$us/ha	Rentabilidad
3	-3.489,96	-17,45	-1,56%
5	28.710,04	143,55	12,82%
7	42.510,04	212,55	18,98%
10	52.860,04	264,30	23,60%

Figura 6.17. Ingresos de agricultura bajo riego con pivote central en función a años de plazo para pago de crédito por compra de equipos de riego pivote central con tasa financiera de 10% anual.



Tasa de crédito a 5 años plazo	Ingreso Neto Total \$us	Ingreso Neto \$us/ha	Rentabilidad
5%	40.785,04	203,93	18,21%
10%	28.710,04	143,55	12,82%
15%	16.635,04	83,18	7,43%
20%	4.560,04	22,80	2,04%
25%	-7.514,96	-37,57	-3,35%

Figura 6.18. Ingresos de agricultura bajo riego con sistema pivote central en función a tasa de crédito porcentual por año con cinco años de plazo.



Zona	Ingreso Neto Total \$us	Ingreso Neto \$us/ha	Rentabilidad
RP	-31.906,60	-245,44	-21,91%
RG1	18.729,02	104,05	9,29%
RG2	34.684,86	173,42	15,48%
RG3	49.074,81	245,37	21,91%

Figura 6.19. Ingresos de agricultura bajo riego con sistema de pivote central para las zonas RP, RG1, RG2 y RG3 que se extienden de sur a norte en la llanura cruceña.

Tabla 6.17.
Estimativas de volumen de agua disponible en el subsuelo para extracción por pozos hasta 500 metros

Zona	Área km ²	Profundidad * (m)	Volumen de Suelos (m ³)	Factor S †		Volumen Agua (millones de m ³)		
				Max. (arenas finas)	Min. (arcillas)	Max.	Min.	Probable (S=0.005)
RP	2.263	500	1.131.290	0,01	0,00001	11.313	11	5.662
RG1	7.022	500	3.511.177	0,01	0,00001	35.112	35	17.573
RG2	12.756	500	6.377.860	0,01	0,00001	63.779	64	31.921
RG3	4.050	500	2.024.877	0,01	0,00001	20.249	20	10.135

*Profundidad máxima de extracción viable de agua.

†Factor S: contenido de agua en el volumen de suelo.

de interés. El propósito de esta comparación es mostrar que se requiere por lo menos una tasa inferior a 12% para tornar el riego económicamente viable (y esto suponiendo un repago en cinco años).

En la Figura 6.19 se hace una comparación entre las zonas para ver cuál de ellas es económicamente viable para el riego intenso utilizando sistemas de pivote central. La variable más importante aquí es el requerimiento de agua para riego, el cual disminuye de sur a norte. Los resultados son lógicos, ya que los costos de riego por hectárea son menores en el norte. En la zona sur RP del río Parapetí, el riego a gran escala utilizando pivote central se torna económicamente inviable por el elevado requerimiento de agua para riego y los costos asociados. El riego en las zonas RG2 y RG3 es económicamente viable. También en las zonas SC y PI. Sin embargo, también se debe tomar en cuenta que los beneficios de riego en la parte norte pueden ser marginales ya que la necesidad de riego es mucho menor.

En base a estos datos se puede concluir que:

1. El gas natural y el GLP subsidiado son los combustibles económicamente más aptos para el riego extensivo, aunque todavía existe el desafío de establecer un sistema de distribución para el área rural.
2. El riego más económico, utilizando sistemas de pivote central para las zonas de producción RG2 y RG3, se daría en un área de 200 a 250 ha.
3. El riego extensivo utilizando sistemas como el de pivote central sólo funcionaría mediante créditos de cinco o más años de plazo, y a tasas anuales de aproximadamente 12% o menos.
4. El riego extensivo utilizando sistemas como el de pivote central no es económicamente viable en lugares del sur, como la zona RP. En la zona RG1 su viabilidad económica es limitada. En las zonas RG2 (al

norte de la línea férrea) se torna económicamente atractivo, siempre que existan las condiciones mencionadas más arriba.

5. Normalmente la disponibilidad de financiamiento está ligada al valor de la tierra. En las regiones RG2 (localidad de Tres Cruces) el valor por hectárea en febrero de 2004 era de aproximadamente \$us. 250. Pocas instituciones financieras estarían dispuestas a financiar sistemas de riego que sobrepasaran el costo por hectárea de la tierra, aunque un sistema de riego minimizaría las pérdidas productivas. Es imperativo, entonces, financiar el riego mediante créditos gubernamentales o préstamos de cooperativas agrícolas. Una iniciativa privada de financiamiento del riego podría ser rentable si estuviera bien estructurada y tuviera en cuenta un plan operativo de financiamiento a largo plazo (cinco o más años). Una empresa que provea o importe equipos de riego y los financie directamente, ofreciendo al mismo tiempo asistencia técnica para la instalación, el funcionamiento y la maximización de la producción, podría ser rentable y muy beneficiosa.

6.3. DISPONIBILIDAD Y CONSUMO DE AGUA SUBTERRÁNEA PARA RIEGO

En esta sección se presenta un análisis simple de la disponibilidad de agua subterránea para su uso en riego. Primero comenzaremos con estimaciones generales del volumen de agua disponible en el subsuelo para extracción por pozos en algunas zonas de la llanura cruceña (Tabla 6.17.) Asumimos aquí que la perforación máxima viable sería de 500 metros y utilizamos este valor para calcular el volumen de los suelos. Luego se utiliza el factor S que representa el contenido de agua en el volumen del suelo (un valor porcentual) para estimar el volumen de agua. Los valores máximos del factor S representan con-

diciones en las que el subsuelo está compuesto de arenas finas con gran capacidad de almacenamiento de agua acuífera, y los valores mínimos representan a las arcillas que contienen poca agua extraíble. El valor probable es de 0,005 y representa un valor estimado en base a los estudios geológicos y litológicos de la zona.

El uso de agua para riego no debe exceder la capacidad de transmisión recarga del acuífero. Si se consume más agua de la que se recarga, y a un ritmo más rápido que el de la posible transmisión de agua, se consumiría los acuíferos, y disminuirían los niveles de los pozos. Esto tendría un efecto adverso en el suministro de agua para consumo humano, ya que la mayoría de los pueblos o comunidades dependen del agua subterránea para su consumo.

Valores teóricos de transmisión fueron calculados en el estudio Abapó-Izozog y varían entre 90 y 130 m/año de agua trasvasada del Río Grande a los acuíferos de la llanura cruceña. Aunque estos estudios de transmisión, que se realizaron usando un análisis de tritium, fueron pocos y limitados, sus resultados pueden ser considerados representativos para un acuífero aluvial, y aplicarse a casi toda la llanura cruceña, aunque teniendo en cuenta que las transmisiones de agua en la parte norte serán probablemente menores, ya que los materiales sedimentarios son más arcillosos.

Otros estudios realizados con isótopos muestran que hay muy poca recarga del Sub-andino y que la gran mayo-

ría de la recarga se da por precipitación y por infiltración de los Ríos Grande y Parapetí. ¿La causa? La gradiente sur-norte que determinaría el movimiento del agua subterránea hacia el norte es relativamente pequeña, como muestra la topografía de la región.

El porcentaje de precipitación que resulta en percolación profunda, conforme estimaciones conservadoras, puede variar de 1 a 5%. Las estimaciones fueron calculadas utilizando la ecuación de Darcy y valores obtenidos en estudios en otros acuíferos aluviales similares al de la llanura cruceña. Por ejemplo, como se mosto en el capítulo 2, Werding (1977) calculó que aproximadamente 10% de la precipitación se infiltra para recargar el acuífero (tomando en cuenta la intensidad de la lluvia en la región que se extienden entre Abapó y los bañados de Izozog). Aquí, en este estudio, tomamos un valor más conservador de 5% de recarga. En la Tabla 6.18. mostramos la posible recarga por precipitación y percolación profunda en las diferentes zonas de la llanura cruceña.

Se puede realizar nuevos estudios con modelos como MODFLOW y otros, para estimar con mayor precisión estos hechos, pero se necesita más datos y pruebas de bombeo en la región.

Las lluvias de verano aportan la mayor cantidad de agua de recarga y saturan el suelo, permitiendo la percolación profunda del agua. Como dijimos anteriormente, se puede estimar conservadoramente que de 1 a 5% de la precipitación media total del año recarga los

Tabla 6.18.
Recarga por precipitación y percolación profunda

Zona	Área km ²	Precipitación Media (mm)	Volumen de agua (millones de m ³)	Percolación profunda (millones de m ³)					
				1%	2%	3%	4%	5%	10%
RP	2.263	672	1.520	15	30	46	61	76	152
RG1	7.022	942	6.612	66	132	198	264	331	661
RG2	12.756	1.095	13.965	140	279	419	559	698	1.396
RG3	4.050	1.301	5.269	53	105	158	211	263	527

Tabla 6.19.
Uso máximo de agua subterránea para riego sostenible

Zona	Área km ²	Déficit de agua para cultivos extensivos			Área en riego (%)	Área en riego (ha)	Uso de agua subterránea (millones de m ³)
		verano (mm)	invierno (mm)	total (mm)			
RP	2.263	270	390	660	5	11.313	75
RG1	7.022	180	280	460	10	70.224	323
RG2	12.756	130	230	360	15	191.336	689
RG3	4.050	80	180	260	25	101.244	263

Tabla 6.20.
Número de pozos y costos para riego en zonas RP, RG1, RG2 y RG3

Zona	Área ideal bajo riego (ha)	Uso de agua (millones de m ³)	Hectáreas de riego por pozo	Número de pozos ideales	Prof. del pozo (m)	Costo medio por pozo (\$us)	Costo Total (\$us)
RP	11.313	75	50 – 100	226	150	27.000,00	6.102.000,00
RG1	70.224	323	100 – 150	702	180	32.400,00	22.744.800,00
RG2	191.336	689	150 – 200	1275	150	27.000,00	34.425.000,00
RG3	101.244	263	200 – 400	506	120	21.600,00	10.929.600,00
			Total =	2710			74.201.400,00

acuíferos en la llanura cruceña. Asumiendo una percolación profunda de 5%, en la Tabla 6.19. calculamos el área de riego sostenible para las zonas RP, RG1, RG2, y RG3. Los resultados son muy interesantes. Por ejemplo, en la zona RG2 (expansión este) teóricamente se podrían irrigar casi 200.000 hectáreas (o un 15% de la zona), utilizando únicamente el agua de recarga (sin disminuir excesivamente los acuíferos). Obviamente, estos valores son correctos para condiciones ideales, en las que los pozos estarían esparcidos uniformemente, las tendencias históricas climáticas se mantendrían, etc.

Si el riego fuera más intenso que el señalado, se corre el riesgo de degradar los acuíferos y contaminarlos, disminuyendo los niveles de agua disponibles, lo que incrementaría los costos de extracción, pues los pozos tendrían que ser más profundos.

Si hacemos un cálculo bruto del posible uso de GLP (subsidiado) o de gas natural para las aproximadamente 380.000 hectáreas de riego sostenible en las zonas RP, RG1, RG2, y RG3, el resultado es hasta 15.000.000 de dólares en combustible por año. Al mismo tiempo, las 380.000 hectáreas de cultivos (como soya y otros) tendrían una producción bruta de aproximadamente 170.000.000 de dólares anuales. Estos valores obviamente son optimistas y asumen la existencia de mercados, precios y financiamiento adecuados.

La cantidad de pozos que se deberían construir para regar las 380.000 hectáreas en las zonas RP, RG1, RG2, y RG3 se muestra en la Tabla 6.20. El número de pozos fue calculado usando un pozo típico ideal en cada zona. También se presenta el costo aproximado de construcción de los pozos en cada zona, el cual fue calculado utilizando la profundidad típica de los pozos y un diámetro de 10 ó 12 pulgadas. Finalmente, se presenta los costos totales, a ser distribuidos a lo largo de varios años.

6.4. UTILIZACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES EN LAS REGIONES RP, IG1, IG2 E IG3

Si tomamos en cuenta la recarga por la infiltración de los ríos (Tabla 6.21.) podemos calcular un posible uso para riego del agua de los ríos que no afecte el sistema hídrico. En la Tabla 6.21. presentamos los valores estimados de recarga del acuífero por infiltración de los ríos Parapetí y Río Grande, en verano e invierno, así como de otros ríos pequeños de la región.

Poner límites al plantío de invierno con riego superficial en la zona RP es muy importante, dado el poco caudal del río Parapetí (Tabla 6.22.) Si se usa más del 10% se puede causar un efecto ecológico negativo en los bañados del Izozog, la producción piscícola, la vida acuática, etc. Si se debe usar el agua del río, se recomienda

Tabla 6.21.
Valores estimados de recarga del acuífero por infiltración del río (total y en época seca y húmeda)

Río	Recarga del acuífero por infiltración del río (millones de m ³)	Volumen en época seca (millones de m ³)	Volumen en época húmeda (millones de m ³)
Parapetí	960	182,4 (19%)	777,7 (81%)
Grande*	2.100	252 (12%)	1.848 (88%)
Otros ríos pequeños	50		

*entre Abapó y Pailón

utilizar un sistema eficiente para evitar pérdidas por evaporación en esta región crítica. La Tabla 6.22. nos muestra el uso ideal del agua del río Parapetí en invierno (5%) y verano (10%). Podemos observar que la cantidad de agua que se podría utilizar idealmente sin afectar el sistema de los bañados para riego es limitada, especialmente en invierno (tiempo en el que, en ocasiones, el río llega a secarse).

En Santa Cruz siempre se consideró que el Río Grande tenía potencial de riego, aunque con limitaciones de calidad, según los estudios de CETABOL (Siles

Lujan, et al., 1999). En la Tabla 6.23. presentamos el potencial de riego del Río Grande, utilizando 5, 10, y 20% del agua disponible en el río, en invierno y verano.

Cabe todavía determinar cuál es el uso sostenible del Río Grande. Para ello se requieren estudios ecológicos y de impacto ambiental más detallados. Una forma controversial de control es la construcción de una presa que permita usar el agua para la generación de electricidad y el riego extensivo mediante canales. Esta es una idea que siempre ha estado presente en Santa Cruz; su viabilidad depende del estudio de impacto ambiental.

Tabla 6.22.
Posible uso de agua superficial del río Parapetí

Temporada	Utilización de agua del río (millones de m ³)	Utilización de agua del río (millones de m ³)
Invierno (abril a septiembre)	182 total	
	9,1 (5%)	2.333
	18,2 (10%)	4.667
Verano (octubre a marco)	777,6 total	
	38,88 (5%)	14.400
	77,76 (10%)	28.800

*Requerimientos de agua para riego en invierno: 390 mm (para 125 días); en verano: 270 mm (para 125 días).

Tabla 6.23.
Posible uso de agua superficial del Río Grande

Temporada	Utilización de agua del río (millones de m ³)	Posible área para riego sostenible ideal* (ha)
Invierno (abril a septiembre)	252 (total)	
	12,6 (5%)	7.875
	25,2 (10%)	15.750
Verano (octubre a marzo)	50,4 (20%)	31.500
	184,8 (total)	
	92,4 (5%)	30.800
	184,8 (10%)	61.600
	369,6 (20%)	123.200

*Requerimientos de agua para riego de cultivos en invierno: 300 mm (para 125 días); en verano: 160 mm (para 125 días).

(7)

TEMAS AMBIENTALES Y DE CONSERVACIÓN

7.1. PRINCIPIOS GENERALES SOBRE EL MANEJO Y LA CONSERVACIÓN DE CUENCAS

El uso de agua subterránea y superficial para riego ofrece oportunidades interesantes para Santa Cruz. No obstante, como es el recurso natural renovable de mayor importancia para la región, cualquier proyecto relacionado a su uso tiene que ser analizado a fondo, tomando en cuenta aspectos ambientales y culturales, para identificar si los cambios en el uso del agua pueden tener grandes impactos sobre los ecosistemas naturales y las comunidades tradicionales. Aún más importante es la realización de estudios sobre los impactos ambientales y sociales cuando se trata de fomentar el aprovechamiento del agua a gran escala, para un uso agroindustrial.

A fin de garantizar la conservación y el uso de los recursos hídricos de los acuíferos cruceños a largo plazo, es necesario limitar el aprovechamiento de las aguas, máximo hasta un volumen igual a la capacidad anual de recarga de estos acuíferos. Caso contrario, el acuífero eventualmente sufrirá una disminución de sus reservas, lo cual perjudicará a la población tanto en términos industriales como para el consumo humano. Si el consumo del agua es mayor que la recarga, el aprovechamiento de las aguas subterráneas sería análoga a la explotación de un recurso no renovable como los hidrocarburos.

Este documento describe varias opciones de producción agrícola con riego; todas fundamentadas en el uso de los acuíferos subterráneos de la llanura cruceña. Los acuíferos se han formado de tres distintas fuentes: 1) la filtración de las lluvias locales, 2) la filtración de los ríos que transitan por la superficie y 3) el flujo de las aguas subterráneas dentro los mismos acuíferos desde áreas con mayor elevación hasta áreas con menor elevación. La región posee tres sistemas hídricos: 1) El río Parapatí-San Julián, 2) El Río Grande y 3) el río Piraí. Todos estos ríos son tributarios de la cuenca Amazónica que nacen en los

Andes y fluyen hacia al norte sobre la planicie cruceña, y todos contribuyen con agua a los acuíferos, mediante filtración. Por tanto, la conservación de los acuíferos depende esencialmente del manejo de estos tres ríos.

La conservación y el manejo sostenible del acuífero exigen medidas que no solamente protejan el uso de las aguas subterráneas, en su lugar de aprovechamiento, sino también los sistemas hídricos en su totalidad. El trabajo tiene que comenzar con la conservación de las cabeceras de los ríos, incluyendo los paisajes naturales con cobertura boscosa que funcionan como recolectores de lluvias. El agua que cae sobre los cerros sin cobertura boscosa se escurre rápidamente sobre la superficie de la tierra, entrando en los arroyos y ríos casi inmediatamente, ocasionando fluctuaciones grandes en el caudal de estos cuerpos de agua. En cambio, una cobertura vegetal amortigua el impacto del agua, ocasionando una mejor filtración del agua al suelo, y evitando las grandes fluctuaciones del caudal de los ríos.

El manejo de las cuencas hídricas es muy importante para el bienestar de los humedales y las lagunas, que funcionan como reguladores de los sistemas hídricos. Los humedales son en realidad represas naturales que almacenan agua de lluvia durante el verano, y son una fuente de abastecimiento de agua para la fauna silvestre durante la época seca. Los humedales son sujetos a distintos tipos de presiones por la acción del hombre, que los utiliza como zonas agrícolas o de pastoreo. En regiones áridas y semiáridas los humedales constituyen una de las principales fuentes de abastecimiento de agua para el ganado y la fauna silvestre en los periodos de sequía. Esto trae como consecuencia el sobre pastoreo y por tanto la compactación de los suelos, lo que afecta en gran medida a la recarga de las aguas subterráneas, pues disminuye la infiltración de agua de lluvia. La falta de cobertura vegetal del suelo por el sobre pastoreo puede, a su vez, facilitar la erosión hídrica. Esta facilita el tras-

lado de sedimentos a las zonas más bajas, es decir, a los humedales, lo que reduce su capacidad de embalse.

Los humedales son, a menudo, la expresión de la napa freática en la superficie del suelo y, a veces, están conectados directamente con los acuíferos. El aprovechamiento de un acuífero puede tener un efecto directo en los humedales; el bombeo de agua puede impactar en el nivel de la napa freática, reduciendo la extensión o profundidad del cuerpo de agua, o puede aumentar la estacionalidad del humedal.

La conservación de los lechos de los ríos y de los terrenos adyacentes también es muy importante para la conservación y manejo de las cuencas. Las fluctuaciones estacionales de los tres ríos mencionados anteriormente son bastante conocidas localmente en Santa Cruz. El caudal aumenta por un factor de cinco (de 500 m a 2,5 km de ancho en el Río Grande, con riadas periódicas de hasta 10 km de ancho), con un correspondiente aumento factorial del volumen. Durante las épocas de agua alta, existe mayor filtración de aguas superficiales hacia los acuíferos subterráneos por el mayor volumen de agua disponible y una mayor superficie del terreno expuesta a los procesos de filtración. Los bosques y humedales naturales asociados con los ríos principales fomentan la filtración del agua hacia el subsuelo. La velocidad de infiltración del agua en los cauces es mucho mayor que en los bosques inundados a los costados de los lechos de río. Consecuentemente, la deforestación de los bosques ribereños fomenta el flujo rápido del agua sobre la superficie, lo que significa una reducción de la filtración de agua al subsuelo y, eventualmente, de la recarga del acuífero.

7.2. CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD COMO OBJETIVO DE LA CONSERVACIÓN DE CUENCAS

Los ambientes acuáticos son piezas clave en cualquier estrategia para la conservación de la biodiversidad. A lo largo de un sistema hídrico se presenta una gran variedad de ambientes con sus floras y faunas especializadas. Sobre la trayectoria de un río, el hábitat acuático varía desde arroyos con aguas claras en las cabeceras de las cuencas hasta los ríos lódicos en las tierras bajas; sobre esta ruta, además, hay una variedad de pantanos, curichales, lagunas y sabanas inundadas de distintas características, y en cada uno de ellos vive una gama de microambientes relacionados. La biodiversidad de los sistemas

hídricos no se ha estudiado con gran detalle, pero los datos existentes muestran el gran potencial de estos sistemas con respecto a la flora y la fauna (Navarro & Maldonado 2002). Para citar un ejemplo de la importancia de estos ríos, el número de especies de peces estimado en la cuenca del Mamoré (la cual incluye al río Pirá y al Río Grande como subcuencas) es de 273, mientras en el Parapatí hay 103 especies. Las de mayor importancia económica son el sábalo, el bentón y los surubís (Sábalo - *Prochilodus nigricans*, Bentón - *Hoplias malabaricus*, Surubí - *Pseudoplastystoma* sp.), las cuales migran para desovar (Goulding et al., 2003).

La mayor parte de la fauna de los ecosistemas terrestres es totalmente dependiente en los sistemas hídricos para su consumo de agua. De especial importancia en el área de estudio son los bañados de Izozog, los cuales son una serie de humedales ligados al río Parapatí y situados sobre el borde del área protegida del Kaa-Iya del Gran Chaco. Estos humedales representan un recurso crítico para la fauna del área protegida. La estación seca en el Gran Chaco es larga y severa, comienza en abril y persiste hasta fines de octubre. La precipitación es variable, pero es común ver pasar varios meses sin lluvia alguna. Los hoyos de agua y los arroyos estacionales de dentro del parque se secan en su mayoría, ocasionando la migración hacia el río Parapatí de poblaciones de toda clase de animales, desde los más grandes como la anta (*Tapirus terrestris*), el pecarí chaqueño (*Catagonus wagneri*) y los guanacos (*Llama guanaco*), hasta los de menor porte como los coatuimundis (*Nasua* sp) y los zorros (*Cercdocyon thous*), los cuales atraen predadores mayores como el jaguar (*Panther onca*) y el puma (*Pantera concolor*). No es una exageración decir que una buena proporción de las poblaciones de fauna del Parque Nacional Kaa-Iya del Gran Chaco son totalmente dependientes de los bañados de Izozog.

Las aves migratorias también dependen de los recursos hídricos de la región. Varias especies de playeros migran hacia el sur desde Norteamérica durante el verano austral y pasan por la zona, tanto en la ida como en la vuelta (Stotz et al, 1996). Otras especies migran hacia las zonas tropicales desde las regiones templadas de Sudamérica, durante el invierno austral. Laguna Concepción ofrece un paradero para estas aves durante sus migraciones largas y es el hábitat para decenas de otras especies locales durante todo el año.

Los Bañados de Izozog y la Laguna Concepción fueron reconocidos en el año 2001 como humedales de

importancia mundial y declarados como sitios RAMSAR. RAMSAR es un tratado intergubernamental que sirve de marco para la acción nacional y la cooperación internacional en pro de la conservación de los humedales. Bolivia es una de las 138 Partes Contratantes en la Convención, con una superficie total de 120,5 millones de hectáreas, designados para ser incluidos en la Lista de Humedales de Importancia Internacional de RAMSAR (<http://www.ramsar.org/indexsp.htm>). Los bañados de Izozog y la Laguna Concepción fueron seleccionados como sitios RAMSAR principalmente a causa de su importancia por la fauna chaqueña y las aves migratorias.

7.3. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS Y RIESGOS RELACIONADOS CON EL USO AGRÍCOLA DEL AGUA

El uso agrícola del agua puede tener impactos significativos en los ecosistemas naturales y la biodiversidad residente, tanto en los ambientes acuáticos como en los ambientes terrestres. Cualquier proyecto de inversión y desarrollo debe contemplar la realización de estudios detallados para identificar los impactos primarios y secundarios que el desarrollo puede causar al

ambiente. En esta sección del informe, se describe brevemente las zonas donde un aprovechamiento no planificado puede ocasionar impactos negativos significativos.

El sistema más susceptible ante un aprovechamiento hídrico no racional es el río Parapatí, debido a su poco caudal y su aporte de aguas a los acuíferos superficiales colindantes. Este río sale al pie de monte, desde el cañón de la Serranía de Aguarague, cerca de San Antonio de Parapatí, con un ancho de 100 m y que varía entre 25 cm. y 1 m de profundidad (Figura 7.1.) Pero el volumen disminuye río abajo, debido a la filtración de sus aguas al acuífero superficial. El cauce del río desaparece en su totalidad como un fenómeno superficial al entrar al paisaje dominado por las dunas eólicas, aproximadamente 60 km al este de San Antonio. Este sector del río tiene agua superficial durante las riadas altas de la época de lluvias, las cuales mantienen la playa abierta. A los bordes del caudal existe un bosque de galería, sustentado por el agua subterránea del acuífero ribereño (Figura 7.2.) El cauce del río reaparece 70 km. al noreste, al otro lado de las dunas, entrando a la planicie aluvial del Gran Chaco (Figura 7.3.)

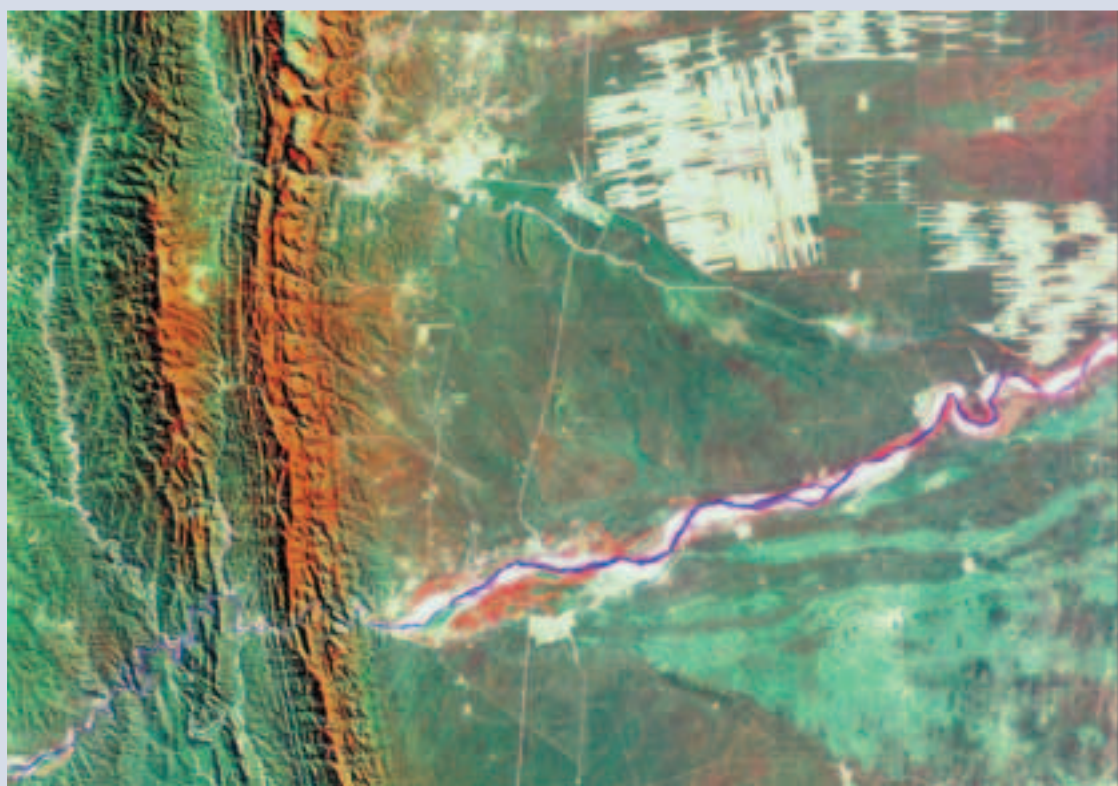


Figura 7.1. El lecho del río Parapatí donde sale de las serranías sub-andinas. Imagen LandSat TM, 2001. La disposición geométrica es una Colonia Menonita (CM).

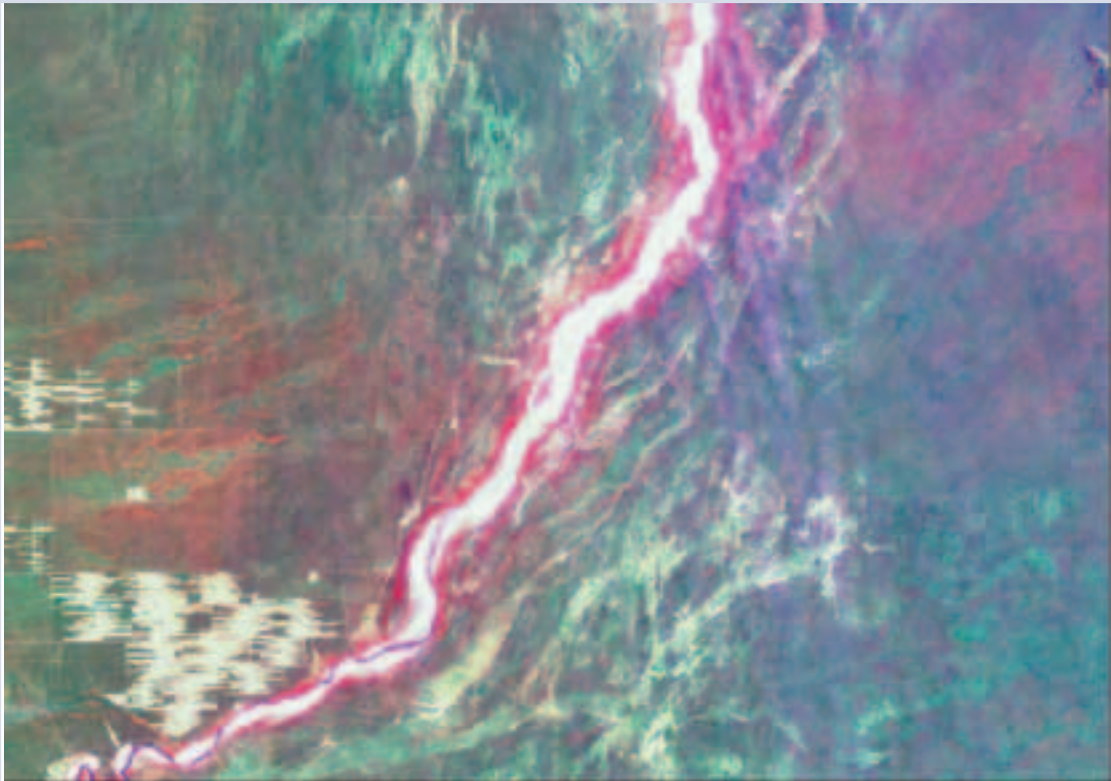


Figura 7.2. El lecho del río Parapetí donde el caudal del río desaparece en una zona arenosa. Imagen LandSat TM, 2001.

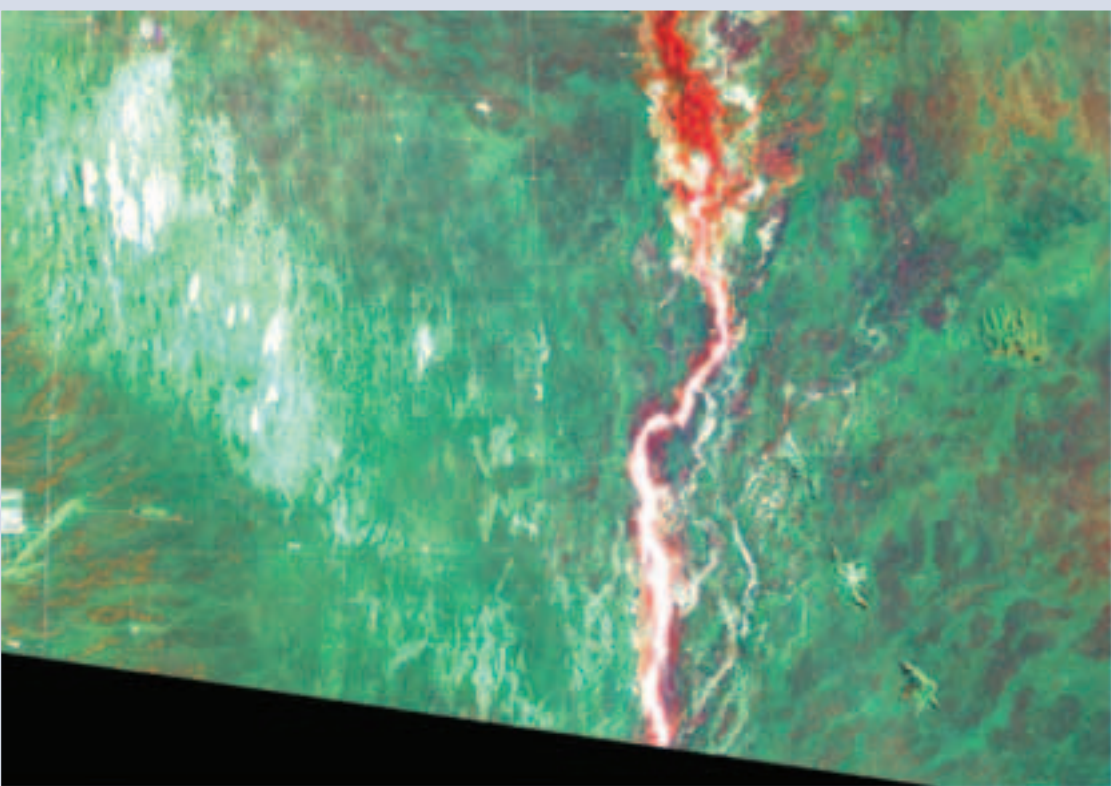


Figura 7.3. El lecho del río Parapetí donde el caudal del río reaparece en los Bañados de Izozog (BI). Imagen LandSat TM, 2001.

El río Parapatí tiene muy poco caudal y forma pozos aislados a lo largo de su cauce durante la época seca; las aguas en el periodo lluvioso se desplazan lentamente sobre varios cauces, como un flujo laminar extenso, dando lugar a la formación de los famosos bañados de Izozog. Los bañados están representados en la mayoría de los mapas históricos de Bolivia como un humedal extenso. En realidad, son una franja de humedales y bosques inundados estacionalmente, los cuales están relacionados con uno y hasta varios cauces de agua, los cuales pocas veces tienen más de 10 m de ancho (ver Figura 7.4.) En el norte, cerca la laguna El Palmar, los cauces se dividen en tres ramos que luego se fusionan de nuevo por un corte en la serranía de Chiquitos (Figura 7.5). Este sector es la parte más susceptible a los impactos de la actividad agrícola. Se puede apreciar en las imágenes satelitales que varios empresarios agroindustriales se están asentado sobre los bordes de los cauces, y hasta han establecidos cultivos en los mismos cauces. Este tipo de asentamiento altera no sólo el sistema de drenaje superficial, sino que ocasionará en un futuro no muy lejano un desequilibrio en el ecosistema de la zona.

Al norte de la línea del ferrocarril y de la serranía de Chiquitos, los arroyos del sistema Parapatí se juntan de nuevo en un río llamado Quimome. El Quimome se junta con otras quebradas provenientes del Escudo Precámbrico para formar el río San Julián, el cual está ligeramente conectado con Laguna Concepción. Ésta existe esencialmente como una pequeña cuenca o bolsón parcialmente aislado del río San Julián, del cual recibe agua durante la época húmeda cuando éste rebalsa de su cauce (Quezada, 2001). La Laguna Concepción es un cuerpo de agua “semi-permanente” porque durante periodos históricos de extrema sequía se seca en su totalidad.

Una interpretación de la morfología del río, las lagunas y los humedales y sus tendencias durante las diferentes épocas del año, concluye que la mayor parte del agua que sale de los Andes por el río Parapatí está relacionada con un acuífero subterráneo de poca profundidad que está directamente ligado al cauce del río. Esta interpretación lleva a identificar varios impactos ambientales que puede cambiar la funcionalidad de los ecosistemas y que representan una amenaza para la conservación de la biodiversidad.

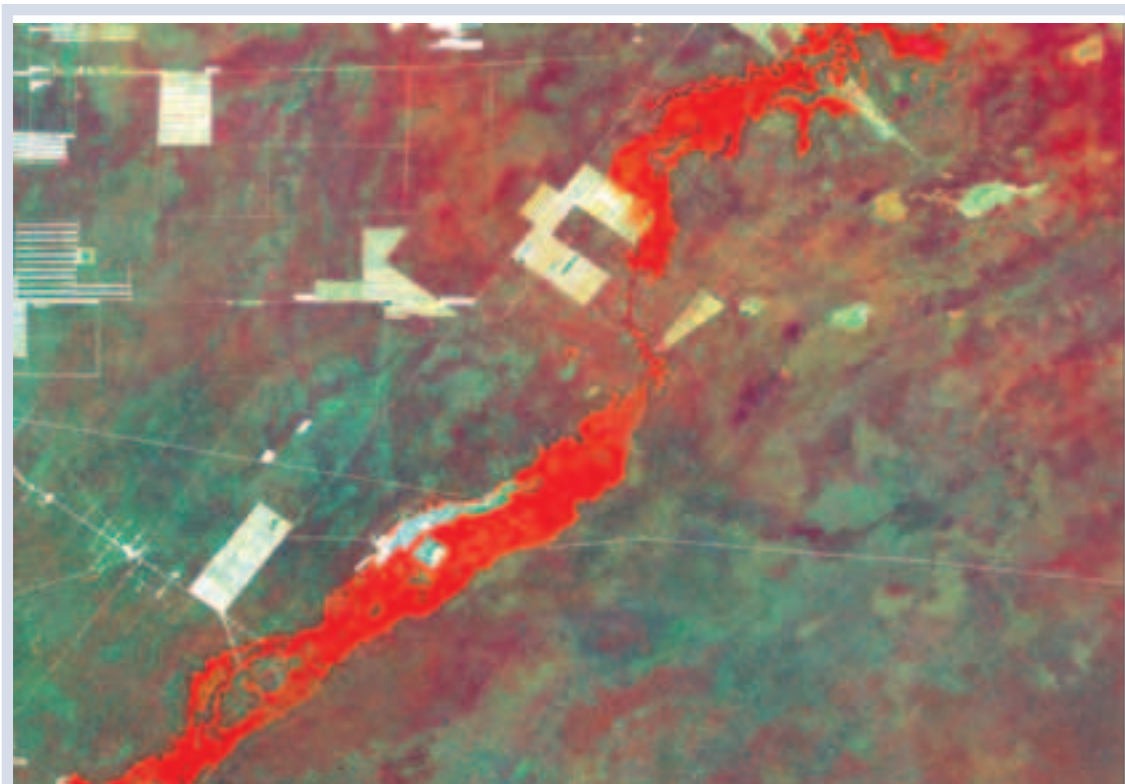


Figura 7.4. Los Bañados de Izozog en la región del cruce del Gasoducto de Gas Trans Boliviano (GTB); se aprecian varias estancias agrícolas asentadas sobre las orillas del río, una de ellas es una finca dedicada a la producción de arroz inundada con agua de los Bañados. Imagen LandSat TM, 2001.

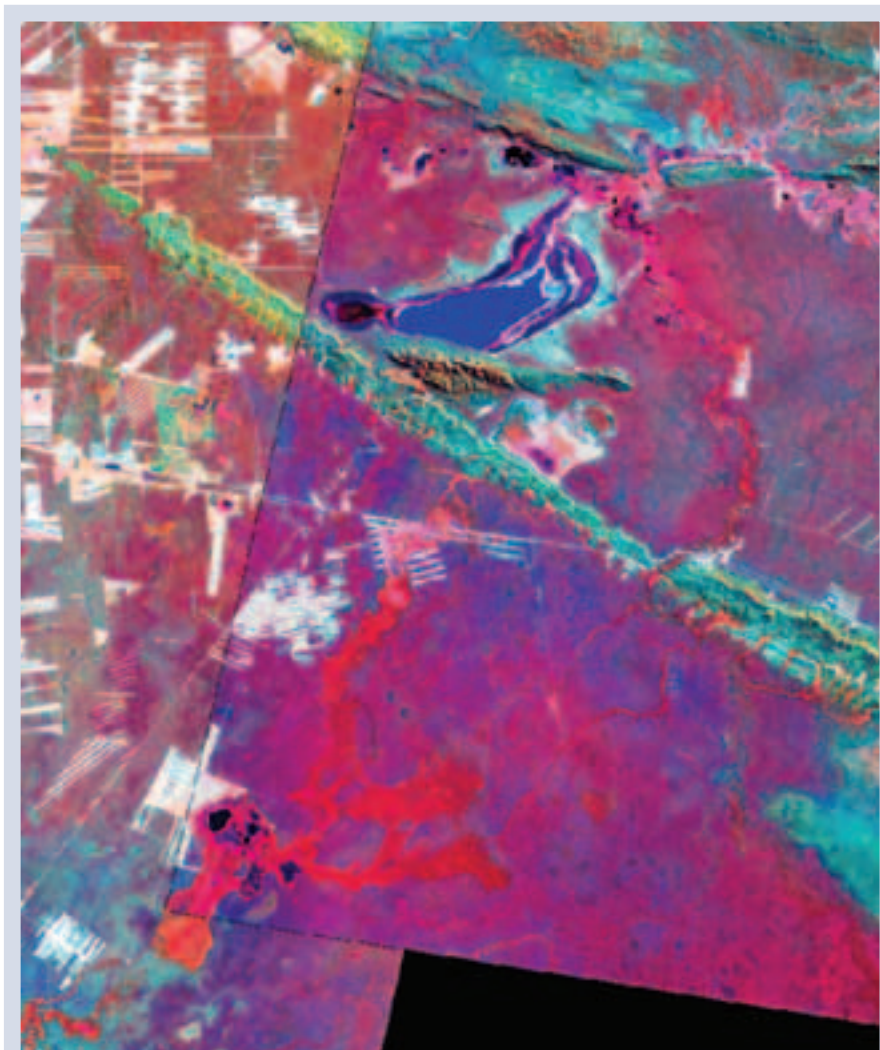


Figura 7.5. El sector norte de los Bañados de Izozog y de la Laguna Concepción; el cauce del río se divide en tres ramas cerca de la Laguna El Palmar (EP) y del cruce de la línea de ferrocarril (FE); se aprecia el asentamiento de un Colonia Menonita sobre el cauce. Imagen LandSat TM, 2001.

- 1) La reducción del nivel del río Parapatí debido al aprovechamiento del agua para el riego agroindustrial. Los humedales representan solamente la parte más superficial de este sistema hídrico, con la mayor parte del agua en el subsuelo como parte de un acuífero superficial. Un aprovechamiento para el riego podría reducir el nivel de la capa freática, impactando los bañados en tres diferentes formas:
 - una reducción en la superficie de los humedales,
 - su desaparición durante los meses más críticos del año,
 - su desaparición durante todo el año, en caso extremo.

El impacto sobre la fauna del Gran Chaco de una pérdida de su principal fuente hídrica durante la época seca ocasionaría la reducción drástica y hasta la extinción local de varias especies. También tendría un impacto negativo sobre la flora y fauna acuática del mismo río.

- 2) La desaparición de la Laguna Concepción a causa de la reducción del caudal del río Parapatí-San Julián. La Laguna Concepción es un humedal sumamente susceptible a los cambios que pueden ocasionar un uso no adecuado de los recursos hídricos de la cuenca. La desaparición puede ser total o estacional con diferentes impactos:
 - Estacional durante la época seca.

- Permanente durante todo el año.
- Periódica durante los años más secos.

La desaparición total de la Laguna Concepción tendría un impacto negativo serio para las aves migratorias, las cuales tendrían que desplazarse a otros humedales de la región. Si la desaparición fuera estacional o periódica, los impactos serían menores, pero igualmente graves, porque reducirían la funcionalidad y productividad del sistema, ocasionando la pérdida de las poblaciones de la fajina acuática, de las cuales las aves dependen.

El Chaco es una zona semiárida: la mayor parte del agua en las cuencas del Río Grande y del Parapatí proviene de las cabeceras de los ríos, en la región andina. En el Chaco hay una variedad de ecosistemas, desde bosques húmedos hasta matorrales xerofíticos. Una buena parte de la precipitación se concentra en las serranías orientales de la faja subandina, que pertenece a las ecorregiones chaco serrano y bosque tucumano-boliviano. El resto del

agua parte de las cuencas en los valles secos de Santa Cruz y Chuquisaca, que son reconocidas por su flora endémica. Esta zona está sujeta a varias amenazas por la deforestación de los bosques húmedos y el sobre pastoreo en las zonas áridas. La degradación de estos ecosistemas disminuirá el flujo de agua durante la época seca, con un impacto negativo sobre la recarga potencial de los acuíferos de Santa Cruz, a largo plazo, y sobre los humedales, a corto plazo.

En las planicies de los ríos Grande, Piraí y Yapaquí, la mayor parte del bosque natural ha desaparecido y las tierras se han convertido en campos agrícolas dedicados al cultivo de soya, trigo, sorgo y otros. Desafortunadamente, las servidumbres ecológicas que fueron identificadas y protegidas por el PLUS (1996) y la Ley Forestal (1996) no se están respetando (Figura 7.6.) Una franja de hábitat natural con un ancho de entre 100 m y 5 km de ancho debería ser preservada en torno a los ríos y arroyos. El tamaño de esta franja tiene que depender del tamaño de los ríos y arroyos a ser preservados.



Figura 7.6. El Río Grande cerca la comunidad de Okinawa; se observan campos agrícolas entre 100 y 1000 m de la orilla; también se observa un campo que fue establecido sobre un arroyo menor.

(8)

RECOMENDACIONES SOBRE RIEGO AGRÍCOLA, TEMAS HÍDRICOS E IMPACTOS AMBIENTALES

El riego agrícola en la llanura cruceña es técnicamente factible, pero depende de varios factores económicos y de un programa bien organizado de fomento. Hay una variedad de sistemas de riego moderno que pueden ser implementados con éxito en la llanura cruceña y que se pueden ajustar a las necesidades específicas de cada propiedad agrícola. Por debajo de la superficie se encuentra un importante depósito de agua subterránea en cantidades adecuadas para la provisión de agua de calidad para el riego. En este libro se presentan datos sobre las fuentes de agua subterránea y superficial, se introduce al lector a las nociones básicas del riego y se da las herramientas fundamentales para que pueda estimar los costos de implementación de los sistemas de riego. En el CD anexo entregamos datos de la región y un modelo para estudiar las implicaciones económicas y financieras del riego.

El gas natural o GLP (subsidiado) son los combustibles que deben ser fomentados para el uso agrícola. El uso de estos carburantes ofrece muchas ventajas técnicas, ecológicas y políticas para Bolivia. El movimiento económico sería significativo, aumentaría las fuentes de trabajo, mejoraría la economía del país y fomentaría la producción nacional.

Al mismo tiempo, la creación de nuevos mercados para la producción agrícola y ganadera es vital para la expansión agrícola. Nuevas y mejores oportunidades de mercado tienen que ser buscadas.

8.1. ZONIFICACIÓN

La zonificación presentada en este libro muestra las zonas que deben tener restricciones en el uso del agua superficial y subterránea, así como las zonas más apropiadas para riego extensivo. En la Figura 8.1. mostramos la zonificación: los colores verdes representan las áreas con viabilidad para el riego extensivo utilizando sistemas como el de pivote central y agua subte-

rránea. A continuación hacemos un resumen de los resultados y conclusiones de la zonificación ya realizada:

- El riego en las zonas RG2, RG3, SC y PI1 es viable a gran escala; sin embargo, se requiere de una gran inversión financiera y de incentivos económicos y políticos. En términos de créditos para riego, se estima que si la tasa de crédito fuera de 12% o menos para préstamos a un plazo de cinco o más años, el riego se tornaría económicamente atractivo. Los beneficios serían grandes, pues se proporcionaría empleos, se incrementaría y aseguraría la producción agrícola, etc. La utilización de los recursos gasíferos como fuente energética sería positiva por razones políticas y nacionalistas como por causas técnico-económicas.
- El riego a gran escala utilizando sistemas como el del pivote central es inviable económicamente en la zona RP por los requerimientos elevados de agua, que vuelven los costos muy elevados. En la zona RG1 el riego es viable con baja rentabilidad, aunque no tan atractivo como lo es en las zonas RG2 y RG3 (donde hay una amplia disponibilidad de tierras y suelos más fértiles, que tienen menos requerimientos de agua e inversión).
- Las zonas GU, PM1, PM2 son en general inviables para el riego extensivo por sus limitaciones en la disponibilidad de agua tanto superficial como subterránea. Los requerimientos de agua son también muy elevados para la rentabilidad de cualquier proyecto de riego.
- Las zonas BI, AP son consideradas zonas ecológicamente frágiles y deben ser preservadas para conservar la ecología de la región. El uso de agua subterránea en otras zonas, especialmente en RP, RG1, RG2, podría tener consecuencias serias para los humedales. En el texto se recomienda poner un

límite al uso de las aguas subterráneas y de las aguas del río Parapetí y del Río Grande.

- El riego a pequeña escala para producción agrícola de consumo local puede ser viable en las zonas RP, AP, GU, y PM1. El uso del viento como fuente de energía para el bombeo del agua puede ser una alternativa viable para las comunidades de la región. El uso limitado de agua superficial también es posible.
- El riego extensivo es innecesario o muy secundario (y sólo para años de sequía) en las zonas PI2 y PI3. Estas regiones reciben en general cantidades de lluvia que superan las necesidades de riego.

- Las zonas IG1 y IG2 son consideradas importantes para la recarga de los acuíferos de la llanura cruceña con el agua del Río Grande. Estas zonas tienen abundantes fuentes de agua y son utilizadas para agricultura, aunque siempre bajo el riesgo de inundaciones. El riego superficial es adecuado en estas zonas, sin embargo las inundaciones puede destruir la red de canales, si ésta no es construida adecuadamente. El riego no es necesario en la zona IG3, ya que hay abundante agua; al contrario, los problemas son las inundaciones y la falta de drenaje.

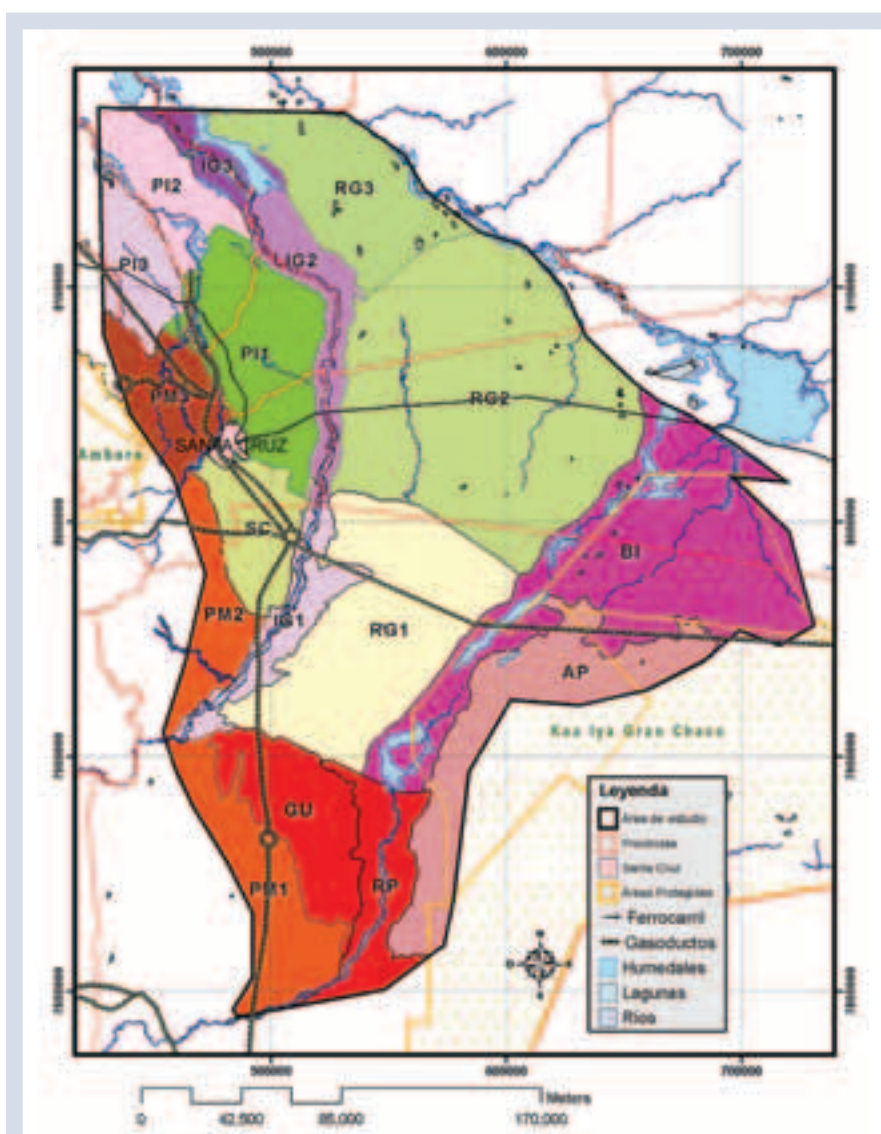


Figura 8.1. Zonificación de la llanura cruceña mostrando zonas viables para riego extensivo en colores verdes (SC, RG2, RG3 y PI1), viable pero con baja rentabilidad en color amarillo (RG1), no viables en colores rojos y restringidas por varios factores en colores violeta y rosa.

8.2. AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL

El desarrollo y adelanto de una región depende principalmente de la disponibilidad del recurso agua y de su calidad. El conocimiento de las fuentes de agua superficial y subterránea, en cuanto a cantidad y calidad, permitirá a las autoridades trazar políticas para desarrollarla, explotarla y conservarla, a fin de atender las necesidades humanas actuales y futuras.

El agua subterránea es la fuente de vida para la mayoría de los pobladores de la llanura cruceña, ya que es la única fuente de agua disponible casi de forma inmediata y sin mucho costo. Un programa de riego extensivo tendría que usar este recurso natural. Para no causar daño a los acuíferos y para que el recurso sea de beneficio a toda la comunidad, se recomienda:

- Una fiscalización más estricta de la perforación de los pozos, para evitar problemas de polución de los acuíferos profundos.
- La construcción de una red de pozos de observación en la llanura cruceña (principalmente en la Zona Este de Expansión Agrícola). Se requiere un estudio más detallado de los caudales de agua y los niveles estáticos en toda la región.
- El estudio del incremento de la población humana en la región y su efecto en el consumo y la calidad del agua.
- El estudio del impacto de un uso excesivo de las aguas superficiales y subterráneas en la región.

8.3. MONITOREO

Durante la realización de este trabajo se pudo comprobar la falta de datos técnicos sobre la región. La única forma real de obtener estos datos es un monitoreo continuo de información específica tanto sobre cuestiones ambientales como sobre cuestiones sociales y económicas. Información sobre el agua disponible en la superficie, la atmósfera y el subsuelo; información sobre ríos, humedales, precipitaciones, niveles de evapotranspiración, y otros asuntos que son indispensables para el entendimiento del ciclo del agua. El monitoreo que se requiere debe ser de largo plazo. Sus resultados son importantes para una serie de actores:

- Los agricultores: dependen de ellos para mejorar su producción, diseñar sus sistemas de riego, etc.
- Los conservacionistas: dependen de ellos para realizar control ambiental y ecológico.

- Los ingenieros, científicos, estudiantes, consultores y otros, que dependen de los datos del monitoreo para realizar diversos estudios y proyectos, muchos de los cuales pueden ayudar a mejorar las condiciones de vida de la región.
- Los políticos y los líderes, que dependen de la información de que disponen para tomar decisiones pertinentes y adecuadas. Sin datos, corren el riesgo de hacer generalizaciones inadecuadas. Esto puede ser peligroso en términos políticos o económicos.

Por estos motivos se recomienda lo siguiente:

- La información meteorológica disponible al este del Río Grande (en la Región de Expansión Este) es precaria. Se recomienda la construcción de una red de medidores meteorológicos que tomen las medidas de evapotranspiración con tanques de evaporación. Estos tanques deben ser instalados en el área del cultivo que es irrigado, para que se posible hacer un cálculo verdadero.
- Se recomienda hacer un monitoreo hidrológico del pasillo entre la Laguna Concepción y los bañados de Izozog, para medir la cantidad y calidad de agua que pasa por allí. Asimismo, se recomienda la creación de un corredor de protección entre estos dos humedales y un estudio más detallado de la influencia de la carretera Santa Cruz-Puerto Suárez sobre este sistema.
- Se recomienda realizar el monitoreo del río Parapetí: nivel de agua, caudales en diversos puntos del río, etc.
- Se recomienda el monitoreo de los bañados de Izozog: un estudio más detallado de sus tiempos de alagamiento, sus niveles de agua, etc.
- Se recomienda el monitoreo del nivel y la calidad de acuíferos mediante una red de pozos en la región.

8.4. RIEGO AGRÍCOLA

Para el riego agrícola es necesario:

- Crear un programa de fomento del riego extensivo en la región que apoye a productores tanto pequeños y grandes. Este programa tiene que tener un financiamiento gubernamental con apoyo privado, o viceversa. Es también de interés nacional fomentar el uso del gas natural en el riego. El gas es un combustible que sería ideal para ser usado con bombas

de riego ya que los costos son menores y el impacto ambiental es mínimo.

- Si se opta por un sistema de riego, es necesario su manejo minucioso para maximizar ganancias. Además, se recomienda que el productor haga un análisis financiero y económico detallado antes de invertir, a fin de verificar el potencial económico del riego en su caso individual.
- Se recomienda, asimismo, la creación de una política de riego para la llanura cruceña, que incluya el uso del agua subterránea y de la de los ríos.
- Es necesario estudiar el potencial y fomentar los cultivos de alto valor con micro-riego en la zona sur: aceitunas, dátiles, etc. Se debe hacer un estudio sobre el mercado y las rutas de exportación de estos productos.
- Se debe desarrollar la tecnología local para construir sistemas de riego, micro-riego y riego de alto volumen (lateral, pivote central, etc.)
- Debe montarse un sistema de distribución de gas por cisterna para abastecer a la agricultura rural.
- Es necesario poner bajo riego los pastizales para la producción ganadera en las zonas con peligro de sequía.

Las descripciones de los sistemas de riego y un análisis económico general de los datos técnicos y económicos presentados en los anteriores capítulos demuestran la factibilidad del riego extensivo en algunas zonas. Sin embargo, deben considerarse ciertas variables que determinarán las probabilidades de éxito en cada caso específico, antes de tomar la decisión de instalar un equipo de riego en una propiedad agrícola:

- Aunque haya informaciones generales de la región sobre la disponibilidad existente, se recomienda realizar un análisis más específico para determinar la ubicación, profundidad, calidad y cantidad de agua subterránea. Esto se hace por exploración geoeléctrica o por perfilaje múltiple de pozos.
- Se debe conocer la calidad del agua que será utilizada para el riego, especialmente su salinidad y su peligrosidad sódica. El agua con un contenido salino con conductividad de hasta 750 microohmos por litro puede ser utilizada en casi todos los casos. Si el contenido salino es superior, hasta 3000 microohmos por litro, sólo será posible regar suelos con una muy buena permeabilidad y cultivos con buena tole-

rancia a la salinidad. Por lo general, el agua con contenido salino superior a 3000 microohmos no sirve para el riego.

- Se debe escoger bien el sistema de riego. Para la elección de un sistema se requiere que el técnico especialista tenga en cuenta variables tales como el caudal de agua disponible, la superficie que se quiere regar, la capacidad del equipo, los turnos de riego (los días necesarios para regar una superficie determinada), la topografía del terreno, la presencia de obstáculos, la conducción del agua hasta el punto de riego, etc.
- Se deberá estudiar y considerar las características propias del suelo, como su estructura, su permeabilidad, su capacidad de retención de agua, y de penetración radicular, lo que permitirá que el profesional determine la forma más conveniente de regar el área. Lo primero que debe lograrse es que el agua infiltre el suelo y no se encharque o se pierda por escurrimiento superficial. Para ello el suelo debe tener una buena condición física, es decir, no estar compactado ni demasiado pulverizado, ni debe tener piso de arado.
- Se debe hacer un estudio económico detallado del riego y de la viabilidad de los cultivos (precios, mercados, volúmenes), así como planificar el manejo del sistema y de los cultivos.

8.5. RECOMENDACIONES PARA LA REGIÓN SUR DE TCO, PARQUE NACIONAL KAA-IYA Y HUMEDALES (UNIDADES: AP, BI, GU, RP)

I. Mejoramiento de las condiciones de vida de los comunarios de la TCO

- A) Dotación de agua potable mediante pequeñas redes de distribución a las comunidades de la TCO.
- B) Estudio de pronóstico de crecimiento poblacional, para el cálculo del consumo de agua.
- C) Dotación de agua comunitaria para riego agrícola mediante una red de pozos. Esta red de pozos disminuiría la utilización de agua directa del río. Para evitar el uso excesivo del agua de los pozos y para disminuir los costos de perforación, sería necesario adoptar técnicas de micro-riego (riego por goteo o riego eficiente superficial). La red de pozos para riego agrícola también ayudaría para un mejor entendi-

miento de la extensión y calidad de los recursos subterráneos de la región.

D) Programas de entrenamiento para incentivar la producción agrícola de las comunidades mediante la implementación de técnicas modernas de agricultura como:

- Sistemas de Riego:
 - Diseño y manejo de sistemas de micro riego y otros sistemas eficientes de riego.
 - Uso eficiente de motores a gas (GLP o gas natural) para bombeo del agua de los pozos.
 - Uso del viento como fuerza impulsora del bombeo.
- Uso óptimo de abonos, herbicidas y pesticidas para asegurar una mejor producción.
- Introducción de técnicas de cultivo: rotación de cultivos, conservación de suelos (prevención de la erosión eólica), manejo de la humedad del suelo, sistemas de plantío directo.

E) Comercialización de productos de alto valor. Introducción de tecnologías para la conservación de estos productos:

- Fomentar nuevos cultivos de alto valor o mejor rendimiento: aceitunas, dátiles, etc. Esto requiere un estudio de mercado.
- Desarrollo de silos comunitarios para granos (maíz, etc.)
- Desarrollo de negocios de venta de comidas procesadas (enlatados, etc.)

II. Preservación del eco-sistema de los bañados de Izozog y de los humedales de la región

La falta de información básica para medir la “salud” y los posibles cambios en el ambiente es preocupante. De ahí la necesidad de realizar algunos trabajos destinados a conocer qué factores afectan o alteran este importante ecosistema.

A) Parámetros climatológicos:

Instalación de estaciones de medición de:

- precipitaciones
- temperatura
- vientos
- evapotranspiración
- humedad relativa
- humedad de los suelos

- radiación solar Estos datos son importantes para:
- Medir los cambios y las variaciones climatológicas durante el año y también a largo plazo.
- Diseñar y manejar de forma idónea los sistemas de riego.

Tres estaciones en cada región fisiográfica o morfológicamente diferente pueden proveer una información óptima sobre estos parámetros; sin embargo, por lo menos debería tenerse una estación por región. Podría usarse un mapa de la vegetación para definir la locación ideal de cada estación.

Estos parámetros son importantes para:

- medir cambios y variaciones durante el año y también cambios a largo plazo.
- estos parámetros (especialmente evapotranspiración) son igualmente necesarios para un manejo y diseño óptimo de sistemas de riego en la región.

B) Parámetros hidrológicos:

Hasta ahora no se realiza un monitoreo de los cambios de la cuenca del río Parapetí. Para entender este sistema hídrico serían necesarias cuatro estaciones a lo largo del río, en los siguientes puntos:

- El ingreso de la cuenca del río Parapetí.
- Aproximadamente 20 km agua abajo, donde el río pierde gran parte de su caudal en época seca.
- En la latitud 19, donde las aguas, durante la época de lluvia, se bifurcan formando un abanico.
- A la salida de la cuenca, más específicamente en el punto del cruce entre el ferrocarril y la carretera a Puerto Suárez, donde el agua del río Parapetí fluye hacia la Laguna Concepción.

Equipos recomendados:

- Medidores automáticos del nivel de agua: Equipos como estos pueden ser instalados fácilmente y pueden ser programados para tomar mediciones a cada hora (o en cualquier tiempo deseado). Esta información es grabada en un data logger y la información se obtiene mediante un *download*, vía computa-

dor Laptop o Palm. Estos aparatos tienen capacidad de almacenar hasta nueve meses de mediciones hechas cada hora. Funcionan mediante una batería de 9V que también puede durar hasta nueve meses. La figura abajo muestra un ejemplo de estos equipos. Su costo aproximado es de entre 800 y 1.000 dólares por unidad.

Figura de equipo

- Molinetes para medir velocidad (aforo): Con la medición de la velocidad, los niveles de agua y el perfil del río, se puede calcular el caudal del agua. El costo aproximado de los molinetes es de 500 a 1.000 dólares.
- Sonar y reglas electrónicas para medir el perfil y la profundidad (sonar, aproximadamente 150 dólares)
- Censores para mediciones de calidad de agua: Los sensores de conductividad son los más comunes y pueden ser manuales o sensores estacionarios instalados juntamente con los que miden el nivel del agua. Está también la opción de instalar otros sensores de calidad como ser turbidímetros, medidores de oxígeno disuelto, etc. (cuyos precios varían).

Otro requerimiento para la medición hidrológica sería la construcción de estructuras para albergar los equipos. Estas estructuras son necesarias para asegurar su funcionamiento y para resguardarlos de daños ambientales y actos vandálicos.

Finalmente se requiere contratar a gente local para ayudar al mantenimiento de los equipos y para reportar daños o anomalías.

Una serie de equipos de bajo costo están disponibles en: www.onsetcomp.com o www.globalw.com.

C) Estudios de inundaciones

Son necesarios estudios para identificar las áreas de inundaciones temporales en la región de bañados. Inicialmente estos trabajos pueden ser realizados mediante la interpretación de imágenes satelitales (radar sat, LandSat, etc.) Estos estudios deben ser complementados con la instalación de sensores de humedad de suelos en la región y con excursiones de reconocimiento.

8.6. RECOMENDACIONES PARA LA MITIGACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

La zona de estudio se ha zonificado según su potencial de riego, tomando en cuenta la profundidad del acuífero, las opciones energéticas y la productividad de los cultivos (véase el Capítulo 6). Este esquema también sirve como base de la zonificación ambiental, sobre la cual se puede elaborar recomendaciones específicas para la mitigación de los impactos relacionados al riego, y para promover la conservación de los recursos hídricos y biológicos.

- **Área protegida de Kaa-Iya (AP):**
No se debe permitir ninguna clase de riego.
- **Cabeceras andinas de las cuencas Piraí, Grande y Parapatí:**
Se debe crear nuevas áreas protegidas en los bosques húmedos y semidecíduos de las serranías de la faja subandina. Estas tierras no son aptas para la agricultura extensiva y la explotación forestal se complica por la topografía; una buena parte de la zona tiene pendientes en las que no se permite la tala de árboles, según las normas del Ley Forestal. En los matorrales xerofíticos de los valles secos tampoco existen áreas protegidas, y por eso es importante la introducción de sistemas de manejo ganadero que eviten el sobre pastoreo, como la rotación de pastoreo y el control de la carga animal.
- **Bañados del Izozog (BI) y Laguna Concepción:**
Los bañados son humedales muy susceptibles al impacto del riego; pueden sufrir los cambios en el régimen hídrico, reduciendo su extensión y “contagiando” a otros humedales río abajo, especialmente a la Laguna Concepción. Se debe prohibir la agricultura, especialmente con riego, en una franja amplia (como 5 km) a los dos lados de los bañados. Actualmente, existen algunas propiedades agrícolas asentadas sobre la orilla de los bañados. Si esta tendencia continúa o se ejecuta proyectos de riego a gran escala, esto puede representar una seria amenaza a la conservación de la biodiversidad y de los recursos hídricos de la zona.
La Laguna Concepción y los humedales en torno son muy susceptibles al impacto del riego; pueden sufrir los cambios en el régimen hídrico reduciendo su exten-

sión. Debe prohibirse el riego en las tierras aledañas y en las que rodean sus afluentes (por ejemplo los bañados del Izozog) y en una franja de 2 km. alrededor de la misma laguna. Actualmente, la ganadería extensiva que se realiza en las tierras colindantes a la laguna es una actividad económica compatible con la conservación de los recursos hídricos y biológicos.

- **Planicie aluvial reciente del Río Grande (IG1, IG2, IG3):**

Esta zona contiene bosques ribereños y humedales con una función ecológica muy importante en el control de las riadas, la infiltración del agua y la recarga de los acuíferos. Actualmente, existen decenas de propiedades que están infringiendo las servidumbres ecológicas señaladas por ley. Debe hacerse respetar el PLUS.

- **Planicie aluvial reciente del río Parapetí (RP):**

Esta región contiene bosques ribereños y humedales con una función ecológica muy importante en el control de las riadas, la infiltración de agua y la recarga de los acuíferos. Es una zona de agricultura tradicional con riego realizada por los indígenas guaraníes. Se debe prohibir el riego a gran escala para

la producción agro-industrial, el cual podría ocasionar cambios en el régimen hídrico impactando tanto en esta zona como río abajo (por ejemplo en las zonas BI, LC).

- **Arenales de Guanacos (GU):**

Esta zona no es apta para la agricultura extensiva, pues está formada por dunas activas de poco beneficio agrícola; no sería impactada por el riego. Las dunas son un fenómeno natural atractivo con potencial turístico. Sin embargo, pequeñas comunidades pueden utilizar el riego en pequeña escala para consumo local.

- **Planicie aluvial del río Piráí (PI1, PI2, PI3); pie de monte (PM1, PM2, PM3); planicie aluvial antigua del Río Grande (RG1, RG2, RG3); sur de Santa Cruz (SC):**

Todas estas zonas son aptas para la agricultura bajo diferentes modelos de producción. El riego es económicamente viable en ellas, aunque en determinadas circunstancias (ver Capítulo 6). Existen servidumbres ecológicas relacionadas con los cursos de agua que deben ser respetadas.

(9) REFERENCIAS

Aunque no todas las publicaciones mencionadas abajo fueron utilizadas en la preparación de este libro, se las presenta aquí para que puedan ayudar al lector interesado en ampliar su conocimiento sobre varios temas brevemente presentados en este libro.

9.1. PUBLICACIONES

AGRAR AND HYDROTECHNIK, 1974. *Proyecto de Desarrollo Agroindustrial Abapó-Izozog*. Santa Cruz – Bolivia.

Baby, P., Moretti, I., Guillier, B., Limachi, R., Mendez, E., Oller, J., Specht, M., 1995. “Petroleum maturation versus thrust emplacement on the bolivian foothills”. In: Tankard, R., Suarez, S., Welsink, H.J. (Eds.), *Petroleum of South America*. AAPG Memoir, vol. 62, pp. 445-458.

BANCO MUNDIAL, 1985. *Proyecto: Tierras Bajas del Este*, Santa Cruz-Bolivia.

BM/CORDECRUZ. 1991. *Proyecto Tierras Bajas del Este* (Lowlands).

Bouwer, H. 1978. *Groundwater Hydrology*. McGraw-Hill, Inc., New York.

CAO, 2001. *Números de Nuestra Tierra 2001*. CAO, Santa Cruz, Bolivia. CD ROM.

Cochrane T.T., 1972. *El potencial agrícola del uso de la tierra en Bolivia. Un mapa de sistemas de tierras*. Misión Británica en Agricultura Tropical. Ministerio de Agricultura, Bolivia.

Cochrane, T.T. 1968. *Apreciación inicial del potencial del uso de suelos de las regiones de pie de monte central y de Santa Cruz del trópico boliviano*. Misión Británica de Agri-

cultura Tropical. Ministerio de Asuntos Campesinos y Agricultura. La Paz, Bolivia.

CORDECRUZ, 1978. *Proyecto Abapó-Izozog*. Santa Cruz – Bolivia.

Davis, M.L, and Cornwell, D.A., 1991. *Introduction to Environmental Engineering*. 2nd Edition. McGraw-Hill series in water resources and environmental engineering. McGraw-Hill, Inc.

FAN & GEOPLUS S.R.L., 1998. Estado actual de pozos abandonados; inspección y evaluación para ANDINA S.A. (Parte 1). Bolivia, FAN, GEOPLUS, ANDINA. (Biblioteca del FAN)

FAN & GEOPLUS S.R.L., 1998. Estado actual de pozos abandonados; inspección y evaluación para ANDINA S.A. (Parte 2).

FAN & GEOPLUS S.R.L., 1998. Estado actual de pozos abandonados; inspección y evaluación para ANDINA S.A. (Parte 3).

FAN, 1987. Resumen de proyecto múltiple “Río Grande-Rositas”. (Biblioteca de FAN.)

FAO, 2003. Groundwater management: the search for practical approaches, Water Report 25, Rome, Italy.

FOSTER, S. D., and HIRATA, R., 1988. *Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data*. Lima, Perú: Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences.

Foster, S., Lawrence, A. y B. Morris., 1998. *Las aguas subterráneas en el desarrollo urbano. Evaluación de las necesidades de gestión y formulación de estrategias*. Docu-

mento técnico del Banco Mundial No 390. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial, Washington, D.C., USA.

Fundación Simon Patiño, 1997. *El agua*. Bolivia Ecológica No 7. (Biblioteca FAN).

GMBH, 1974. *Proyecto de desarrollo agro-industrial Abapó-Izozog: Hidrogeología*. Agrarund hydrotechnik GMBH - Essen. Informe técnico para la FAO, 14/1974.

Goulding, M. R. Barthem, E. Ferreira, 2003. *The Smithsonian Atlas of the Amazon*, Natural History, Smithsonian Institution, 254 pp.

Huaranca, R. & Neumann-Redlin, Chr., 1997. "Mapa hidrogeológico de Bolivia 1:250,000", Hoja Cochabamba con memorias explicativas en el Boletín del Servicio Nacional de Geología y Minería, 12. La Paz, Bolivia.

Husson, L. and Isabelle Moretti, 2002. *Thermal regime of fold and thrust belts – an application to the Bolivian sub Andean zone*. Tectonophysics 345, pp. 253-280.

INE (2002a) <http://www.ine.gov.bo> date 19 March 2002.

Jensen, M.E. (Ed.) 1983. *Design and Operation of Farm Irrigation Systems. Revised Printing*. ASAE Monograph number 3. American Society of Agricultural Engineers, 2950 Niles Road, St. Joseph, Michigan 49085.

Krampe, K.: Objetivo, uso y tipos de mapas hidrogeológicos (según una publicación por W.F. Struckmeier, 1989), IT CABAS N° 42, dic. 1996.

Lizarazu, J., Soria, A., Cortez, L. & Neumann-Redlin, Chr., 1997. "Mapa Hidrogeológico de Bolivia 1:2.500.000". La Paz, SERGEOMIN.

Magder, 2002. *Plan de Riego Bolivia 2002-2007*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Vice-ministerio de Desarrollo Rural y Riego.

MAGDR, 2000. *El agro boliviano: estadísticas agropecuarias 1990-1999*. MAGDR, La Paz, Bolivia. 271 pp.

Mitsch, W.J. & J. G. Gosselink, 1993. *Wetlands*. 2nd Edition. Van Nostrand Reinhold. NY. 721 pp.

Moretti, I., Baby, P., Mendez, E., Zubieta, D., 1996. *Hydrocarbon generation in relation to thrusting in the Sub-Andean Zone from 18 to 22°S*, Bolivia. Pet. Geosci. 2, 17-28.

Morris, B.L., Lawrence, A.R.L., Chilton, P.J.C, Adams, B., Calow, R.C. and Klinck, B.A., 2003. *Groundwater and its Susceptibility to Degradation: A Global Assessment of the Problem and Options for Management*. Early Warning and Assessment Report Series, RS. 03-3. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.

Navarro G. & M. Maldonado. Geografía Ecológica de Bolivia, Centro de Ecología Simón I. Patiño, Cochabamba – Bolivia, 719 pp.

NEUMANN-REDLIN, CH. & VILLENA, H., 1992. *Primeros aspectos de hidrogeología del chaco tarijeño*, IT CABAS N° 1, agosto.

Neumann-Redlin, Ch., Callizaya, V., Díaz, J., Pasig, R. & Ramírez, I., 1994. "Mapas hidrogeológicos de Chaco tarijeño: Primeros borradores para dos mapas, Hoja 6341, Cochabamba 1:250 000 y chaco tarijeño 1:100 000", IT CABAS N° 22, octubre 1994.

Neumann-Redlin, Ch., Huaranca, R. "Memoria explicativa del mapa hidrogeológico de Bolivia 1:250.000", Hoja Cochabamba, IT CABAS N° 38.

Neumann-Redlin, Ch.. & Villena, H., 1993: Aspectos adicionales sobre la geología y hidrogeología del chaco tarijeño/abanico aluvial del río Pilcomayo, IT CABAS N° 16, diciembre 1993.

Neumann-Redlin, Ch. & Villena, H., 1993. *Bibliografía hidrogeológica del chaco sudamericano*, IT CABAS N° 12, marzo.

Neumann-Redlin, Ch., 1995. "Mapa de ocurrencia de aguas subterráneas de Bolivia en la escala 1:2.500,000, concepto de elaboración", IT CABAS N° 30, septiembre.

Organización de los Estados Americanos, 1990. *Programa de desarrollo integral del chaco boliviano*. (Biblioteca FAN).

PHICAB, 1990. Balance hídrico superficial del Bolivia. PHICAB/CONAPHI/IHH/SENAMHI. La Paz, Bolivia.

Prefecturas de Tarija, Santa Cruz, y Chuquisaca *et al.*, 1998. *Plan Macro Regional de Desarrollo Económico y Social del chaco Boliviano*, octubre. (En este documento se encuentran resúmenes generales de la situación económica del chaco).

PLUS, 1996. Memoria del PLUS.

PLUS 1996. Plan de Uso de Suelos de Santa Cruz, COR-DECRUZ, IP.

PNUD/MDSMA, 1995. *Evaluación de los recursos hídricos de Bolivia. Informe final*. La Paz, Bolivia.

PRIME, 2000. *Evaluación ambiental estratégica del corredor Santa Cruz-Puerto Suárez, Bolivia*, 8 volúmenes, Santa Cruz.

PRONAR, 2002. *Estudios básicos y diagnóstico de riego de los departamentos de Cochabamba, Chuquisaca, La Paz, Oruro, Potosí, Santa Cruz y Tarija* (en edición).

QUEZADA, B, 2001, *Caracterización de la Vegetación de la Laguna Concepción, Provincia Chiquitos, Santa Cruz - Bolivia*, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Santa Cruz, Bolivia.

Quietada, B., 2004. *Un mapa de vegetación de Laguna Concepción*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Agrícolas, UAGRM, Santa Cruz, Bolivia.

Siles Luján, A., K. Hitsuda, S. Kobayahsi, 1999. *Evaluación de la calidad de aguas de ríos y pozos en las colonias japonesas en Bolivia*. Centro Tecnológico Agropecuario en Bolivia (CETABOL) y Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). Santa Cruz, Bolivia.

Stotz, D.F., J.W. Fitzpatrick, T.A. Parker III, and D.K. Moskovits, 1996. *Neotropical birds: ecology and conservation*. University of Chicago Press, Chicago, USA.

TNC, 1997. *Freshwater initiatives recommended strategies for advancing freshwater conservation*, The Nature Conservancy.

Universidad Estatal de Utah/USAID/Bolivia, 1972. *Estudio de riegos para cultivos seleccionados*, Santa Cruz, Bolivia. USU Series 13/72, Logan, Utah.

Werding, Lutz, 1977. *The Rio Grande Ground-Water Basin, Chaco Boreal, Bolivia*. Geol. Jb. C17, Hannover, pp. 19-36. –A natural resources survey conducted in the early 1970's in the northern part of the Gran Chaco (Chaco Boreal) by Agrar- und Hydrotechnik, Essen, for the Food and Agriculture Organization (FAO).

Wilcox L.V., 1948. *The quality of water for irrigation*. US Dept. of Agric. Tech. Bull. No. 962:1-40.

9.2. INSTITUCIONES

PRONAR – Programa Nacional de Riego
Secretaría Nacional de Agricultura y Ganadería (SNAG)
Dirección Nacional de Riego y Suelos
Avda. Camacho 1471
La Paz, Bolivia
Tel: (591) 2 2391508
Fax: (591) 2 2337535
Capacitación y asistencia técnica de PRONAR.
www.catpronar.org

CGIAB – Comisión para la Gestión Integral del Agua en Bolivia
<http://www.aguabolivia.org>

CAO – Cámara Agropecuaria del Oriente

CIAT – Centro de Investigación de Agricultura Tropical

Federación Agropecuaria

CETABOL – Centro Tecnológico Agropecuario en Bolivia

Proyecto PROASU-JICA – pozos de agua para las comunidades

SENAMHI – datos meteorológicos al servicio de la Prefectura Departamental de Santa Cruz

YFPB - Centro Nacional de Información Hidrocarbúrfera
Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos
Av. Grigotá esq. Reg. Lanza s/n
Tel: 591-3-352-7722 int. 3420

(10)

ANEXOS

En esta sección de anexos incluimos diverso datos que pueden complementar informaciones presentadas en el texto principal. También describimos el contenido del CD Anexo.

10.1. CONTENIDO DEL CD ANEXO

En el CD anexo encontramos los siguientes archivos y directorios:

ARCHIVOS:

Riego.pdf – documento en formato PDF que contiene este libro.

Modelo_económico.xls – planilla de MS Excel que contiene el modelo económico de riego.

pozos_datos.xls – planilla de MS Excel que contiene datos de los pozos.

pozos_norte1.xls – planilla de MS Excel que contiene datos de los pozos norte y datos de calidad de agua y datos hidrológicos de ríos (río Pirá y río Grande).

Lluvia_SCZ1.xls – planilla de MS Excel que contiene datos de precipitación para todo el departamento.

riego_cultivos.xls – planilla de MS Excel que contiene resultados de análisis de riego para cada zona de la región.

SCZ_meteorología4.xls – planillas de MS Excel que contienen datos meteorológicos del departamento (temperaturas, humedad, vientos, etc.) y cálculos de ETo.

DIRECTORIOS:

GIS_Raster – directorio que contiene archivos de mapas utilizados en el estudio para sistemas de información geográfica en formato Raster:

- DEM – Modelo de elevación digital de la región de Santa Cruz obtenidos de SRTM – NASA en resolución 90m.

- **Imágenes_MrSid** – imágenes de satélite LandSat compilados por la NASA para la región de Santa Cruz y salvados en formato MrSid.
- **Precipitación** – Contiene varios mapas de precipitación de la región.

GIS_Shape – directorio que contiene varios mapas utilizados en el estudio para sistemas de información geográfico en formato Arc View Shape file:

- **Aptitud_plus1** – mapa de aptitud agrícola.
- **Humedades** – mapa de los humedades de la región.
- **oil_wells** – mapa de los pozos de exploración de petróleo utilizados en el estudio para determinar geología de la región.
- **Pozos_conductividad1** – mapa de pozos que contienen información sobre conductividad eléctrica utilizado para determinar calidad de agua.
- **pozos_final1** – mapa con todos los pozos de la región utilizados en el estudio.
- **prec_scz1** – mapa con estaciones de información de precipitación en el departamento.
- **scz_prec_all1** – mapa con estaciones de precipitación (todos).
- **temp_max1c** – mapa con estaciones de temperatura máxima.
- **temp_min1c** – mapa con estaciones de temperatura mínima.
- **vientos_dir** – mapa con estaciones que muestran dirección de vientos.
- **vientos_kmh** – mapa con estaciones que muestran velocidad de vientos.
- **x-section_geo** – mapa de muestra los cortes geológicos (A-A' y B-B') utilizados para la descripción de geología en la región.
- **zonas_riego1** – mapa que muestra la zonificación de la región conforme potencial de agua y riego.

Modelo_riego – contiene el programa CROPWAT y los factores calculados para cada zona de la región para suelos, clima, y cultivos.

10.2. DATOS ECONÓMICOS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

Información presentada a seguir proviene de datos compilados de ANAPO y de la CAO. Se refiere al

lector a estas dos instituciones para obtener mayores datos económicos de las siguientes publicaciones (anuales):

- Números de Nuestra Tierra 2003. Publicado por CAO.
- Memoria anual – anuario estadístico – informe de precios y mercado 2002. Publicado por ANAPO.

Tabla 10.1.
Estructura de costos operativos y de producción soya - siembra directa - maquinaria alquilada

Propiedad de 200 ha (100 km de distancia)	Invierno 2002
PRODUCTIVIDAD (TM/ha)	1.94
DESCRIPCIÓN	\$us/ha
A - OPERACIONES	90.13
A.1 Preparación del suelo	0.00
Rome Plow	-
Rastra	-
A.2. Siembra	10.13
Siembra	10.00
Preparación de semilla (mano de obra)	0.13
A.3. Tratos culturales	40.00
Aplicación de desecante	5.00
Aplicación de desecante secuencial)	5.00
Aplicación de herbicida pos emergente	5.00
Aplicación de insecticida (defoliadores)	5.00
Aplicación de insecticida (chupadores)	5.00
Aplicación de desecante	5.00
Carpida manual	10.00
A.4 Cosecha	40.00
Cosechadora	40.00
B - INSUMOS	92.40
B.1. Semillas / Mat. siembra	27.40
Semillas	23.20
Tratamiento de semilla	4.20
B.2. Defensivos agrícolas	65.00
Desecante (Glifosato + Adherente + 2,4-D)	13.00
Desecante (secuencial)	6.00
Herbicidas pos emergentes	25.00
Insecticidas (Defoliadores)	3.00
Insecticidas (Chupadores)	8.00
Desecante	10.00
Otros agroquímicos	-
C - ADMINISTRACIÓN	12.85
Administrador	-
Contabil./escritorio	-
Depreciación	-
Costo financiero (insumos)	8.32
Viajes	-
Impuestos	3.56

Aportes	0.97
D - DESPÚES DE LA COSECHA	21.07
Transporte a silos	21.07
Costo operativo (A+B+C. financiero+D)	211.92
Costo total (\$us/ha)	216.45
Precio \$us/TM	145.00
Ingreso (\$us/ha)	281.30
Resultado (\$us/ha)	64.85
Rentabilidad (%)	23.05%

Fuente: ANAPO - Departamento de Producción y Servicios.
 Elaboración: ANAPO - Unidad de Servicios y Comunicaciones - USyC

Tabla 10.2.
Santa Cruz: Estructura de costos operativos y de producción de trigo-siembra directa-maquinaria alquilada

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (\$us)	\$us/ha
A. Maquinaria				76.50
A.1 Siembra				15.00
Sembradora	Pasada	1.00	15.00	15.00
A.2 Tratos culturales				26.50
Aplicación de desecantes	Pasada	1.50	5.00	7.50
Aplicación de insecticidas	Pasada	1.80	5.00	9.00
Aplicación de herbicidas	Pasada	1.00	5.00	5.00
Aplicación de fungicidas	Pasada	1.00	5.00	5.00
A.3 Cosecha				35.00
Cosechadora	Pasada	1.00	35.00	35.00
B. Insumos				83.85
B.1 Semillas/material de siembra				36.20
semillas	Kg.	100.00	0.32	32.00
Tratamiento de semilla (Rhodiauram T)	Litro	0.20	21.00	4.20
B. 2 Defensivos agrícolas				47.65
Desecantes (Glifosato)	Litro	3.50	3.50	12.25
Desecante (2,4-D)	Litro	0.50	5.00	2.50
Insecticida (Pirimor)	Kg.	0.15	22.30	3.40
Insecticida (Nomolt)	Litro	0.07	72.50	5.10
Herbicida hoja ancha (2,4-D)	Litro	0.50	5.00	2.50
Fungicida (Folicur)	Litro	0.50	43.80	21.90
C. Después de la cosecha				12.80
Transporte a silos	Ton.	1.60	8.00	12.80
Costo operativo (\$us/ha) (A+B+C)				173.15
D. Administración				9.85
Costo financiero (Insumos)	Meses	6.00	1.50%	7.55
Impuestos (RAU, IPA)				1.50
Aportes	Ton.	1.60	0.50	0.80
Costo total (\$us/ha) (A+B+C+D)				183.00

Fuente: ANAPO - Departamento de Producción y Servicios.
 Elaboración: ANAPO - Unidad de Servicios y Comunicaciones - USyC
 *Valores similares para trigo con plantío convencional y con maquinaria propia.

Tabla 10.3.
Estructura de costos operativos y de producción de girasol siembra directa - maquinaria alquilada

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (\$us)	\$us/ha
A. Maquinaria				65.00
A.1 Siembra				15.00
Sembradora	Pasada	1.00	15.00	15.00
A.2 Tratos culturales				20.00
Aplicación de desecantes	Pasada	1.00	5.00	5.00
Aplicación de insecticidas	Pasada	1.00	5.00	5.00
Aplicación de herbicidas	Pasada	1.00	5.00	5.00
Aplicación de fungicidas	Pasada	1.00	5.00	5.00
A.3 Cosecha				30.00
Cosechadora	Pasada	1.00	30.00	30.00
B. Insumos				55.75
B.1 Semillas/material de siembra				24.00
Semillas	Kg.	4.00	6.00	24.00
B. 2 Defensivos agrícolas				31.75
Desecante (<i>Round up</i>)	Litro	2.50	3.50	8.75
Insecticida (<i>Arrivo</i>)	Litro	0.10	12.00	1.20
Herbicida Gramicida (<i>Hawk</i>)	Litro	0.40	35.70	14.30
Fungicida (<i>Carbendazin</i>)	Litro	0.50	15.00	7.50
C. Despues de la cosecha				5.40
Transporte a silos	Ton.	0.60	9.00	5.40
Costo operativo (\$us/ha) (A+B+C)				126.15
D. Administración				7.12
Costo financiero (Insumos)	Meses	6.00	1.50%	5.02
Impuestos (RAU, IPA)				1.50
Aportes	Ton.	1.20	0.50	0.60
Costo total (\$us/ha) (A+B+C+D)				133.27

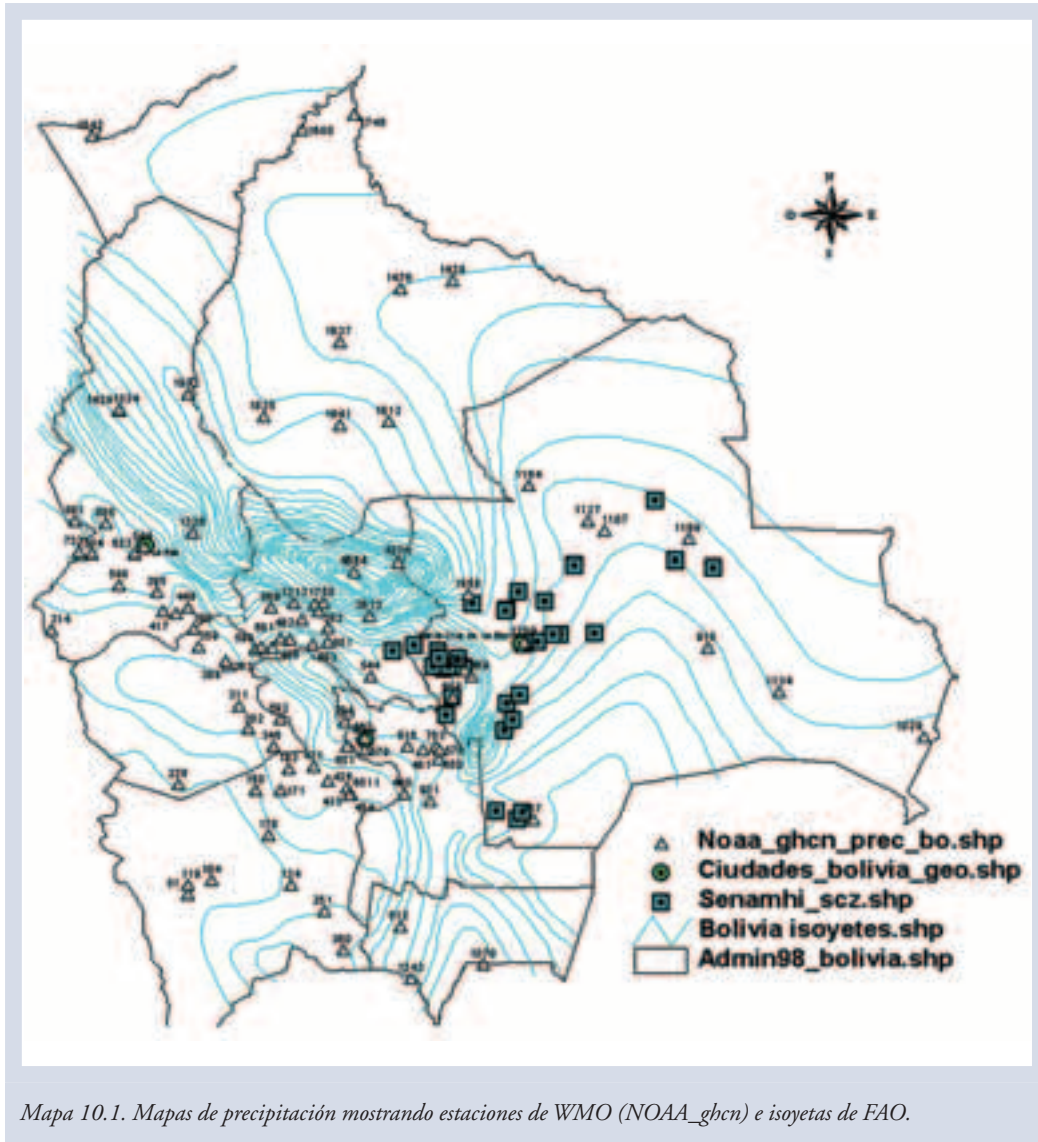
Fuente: ANAPO - Departamento de Producción y Servicios.
Elaboración: ANAPO - Unidad de Servicios y Comunicaciones – UsyC

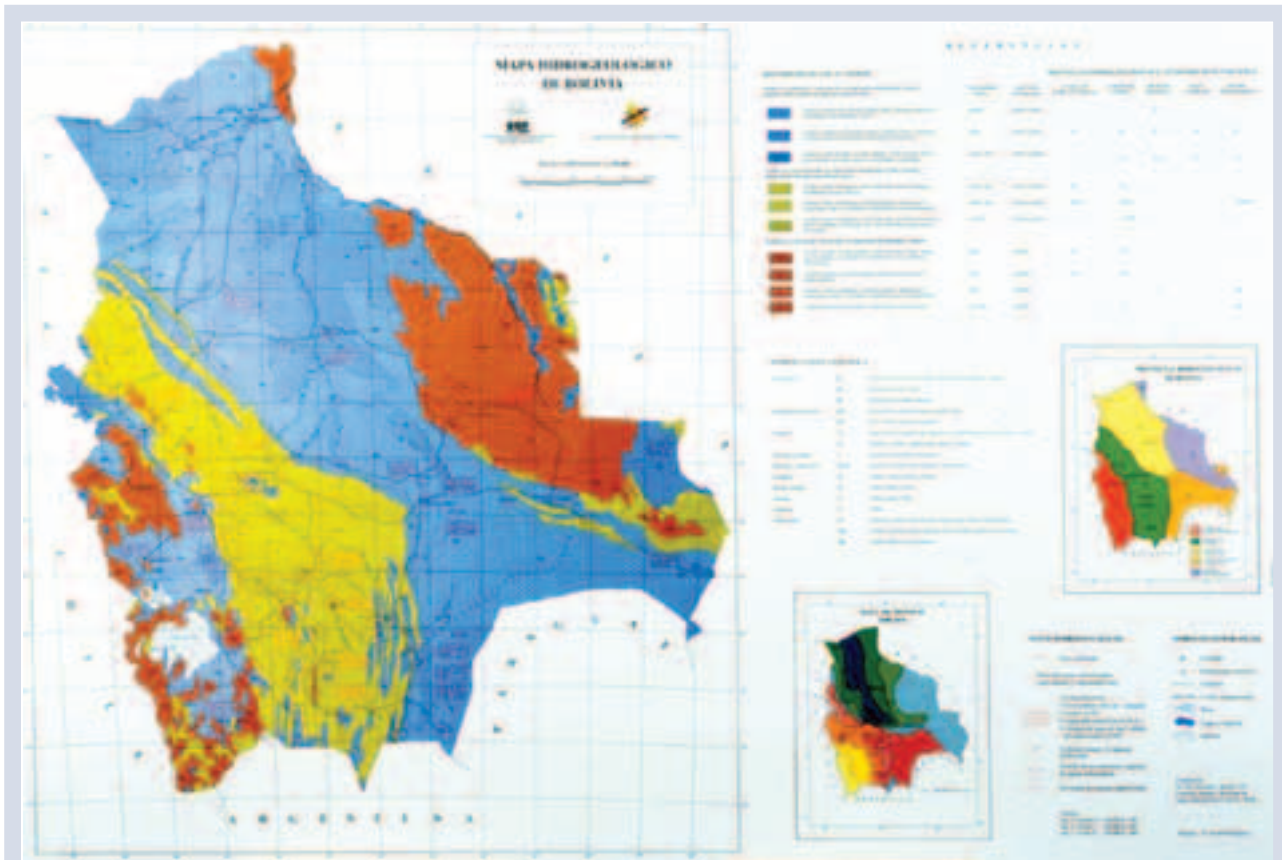
10.3. INFORMACIONES ADICIONALES CLIMATOLÓGICAS Y GEOLÓGICAS

Existe información histórica de estaciones en Bolivia obtenible de la organización WMO – World Meteorological Organization. El Mapa 10.1. muestra estas estaciones (con valores para precipitación) sobre isoyetas de precipitación calculadas por la FAO.

En el Mapa 10.2. mostramos el mapa hidro-geológico de Bolivia en escala de 1:2,500,000. Este mapa, aunque muy limitado para la región de Santa Cruz, puede ser obtenido mediante el convenio alemán-boliviano de aguas subterráneas (sede en Cochabamba).

Referencia: Neumann-Redlin, Ch., 1995.

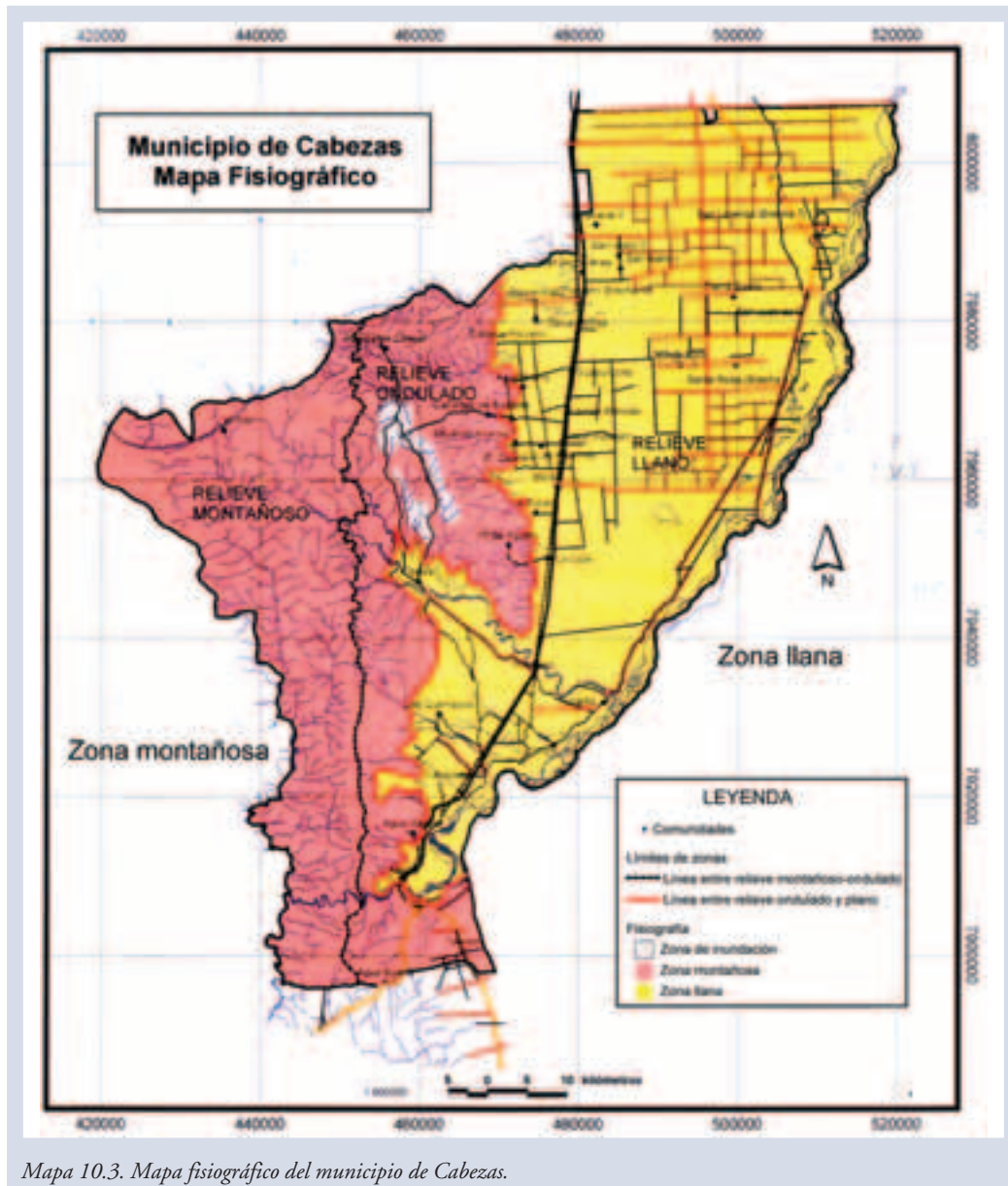




Mapa 10.2. Mapa hidro-geológico de Bolivia a escala 1:2,500,000.

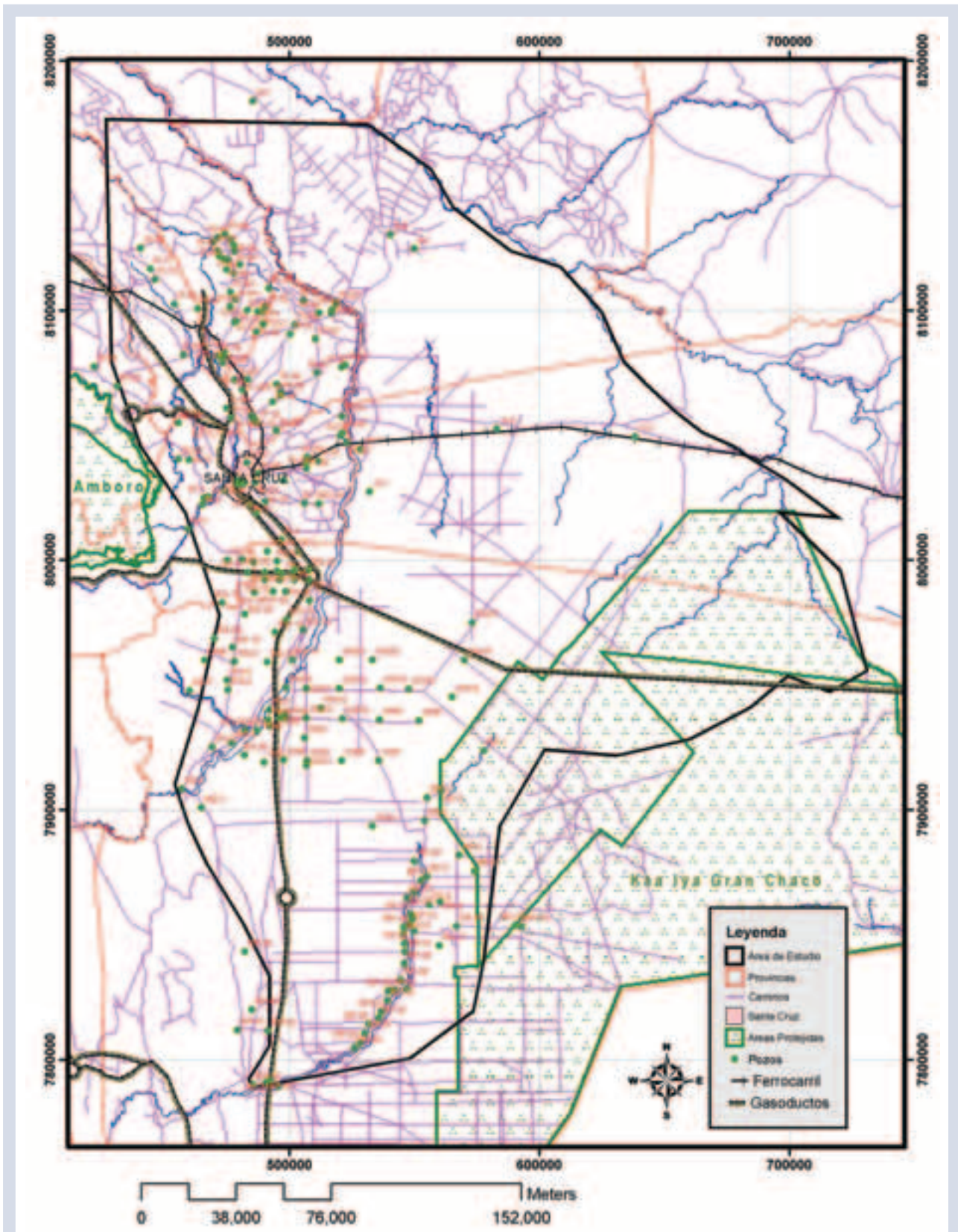
Existen también algunos mapas regionales fisiográficos y geológicos de la región de Santa Cruz como se puede apreciar en el Mapa 10.3. de fisiografía y el

Mapa 10.4. de geología del municipio de Cabezas. Fuente: Estudios Hidro-geológicos realizados por el Ing. Osvaldo Rosales.



Mapa 10.3. Mapa fisiográfico del municipio de Cabezas.

10.4. DATOS DE POZOS



Mapa 10.5. Mapa de pozos de agua identificados y utilizados en este estudio.

N° Pozo	Localidad	Tipo pozo	Elev. msnm.	Prof. (m.)	Díam. (pulg)	Bajo sup.	msnm	Caudal (l/s)	Capac. (l/h/m)	Nivel Din.	Tipo material		Cond. Eléc.	Fecha Perf.	DEM MSNM	Nivel Estat. MSNM
											Tubos	Filtros				
RP-1	Gualf-lado PE237	Pozo	326		6	18	308				A.Carbo	Persiana			331	313
RP-2	Ecia Cachari	Noria									Palo				344	
RP-3	Ecia Rincón	Noria									Palo				349	
RP-4	Iboperenda	Noria				17					Palo				357	
RP-5	Gulf lado Emsco8	Pozo									A.Carbo	Persiana			364	347
RP-6	I W W W - 24	Pozo									A.Carbo	Persiana			370	
RP-7	Cmdad.Aguarati	Pozo		77	4	13		3.60		36	Galvani.	Ranurad.			384	371
RP-8	Cerro Carua	Pozo			6	25					A.Carbo	Persiana			393	368
RP-9	Cerro Carua	Pozo			6	15					A.Carbo	Persiana			395	380
RP-10	Coropo	Pozo		64	4	16		3.00		36	Galvani.	Ranurad.			404	388
RP-11	Yobi	Pozo		109	4	13		10.08		36	Galvani.	Ranurad.			402	389
RP-12	Aguarigua	Pozo			4						Galvani.	Ranurad.			405	
RP-13	Guirapembi V.	Pozo			4						Galvani.	Ranurad.			408	
RP-14	Gulf-Campo Drill	Pozo				20					A.Carbo	Persiana			395	375
RP-15	Gulf I w w 10	Pozo				21					A.Carbo	Persiana			378	357
RP-16	Gulf IESMCO-9	Pozo	374.6			19	355				A.Carbo	Persiana			374	355
RP-17	Cerro C.I W W 8	Pozo									A.Carbo	Persiana			413	
RP-18	Maico	Pozo			4						Galvani.	Ranurad.			448	
RP-19	Floresta	Pozo		72	4	18		7.20		30	Galvani.	Ranurad.			573	555
RP-20	Guarrenda Nueva	Pozo		70	4	14					Galvani.	Ranurad.			372	358
RP-21	Ecia.Paraboca	Noria	401	12							Palo				385	
RP-22	Ecia Tamane	Pozo	407	98	2						Galvani.	Ranurad.			388	
RP-23	San Silvestre	Pozo			4						Galvani.	Ranurad.			397	
RP-24	Rancho Mini	Pozo	418		4						Galvani.	Ranurad.	1400		409	
RP-25	Guirapembi Nueva	Pozo		77	4	14		12.00		22	Galvani.	Ranurad.			409	395
RP-26	Guirayoasa-Tamach	Pozo		79	4	15		7.50		36	Galvani.	Ranurad.			414	399
RP-27	Guirayoasa-Brecha	Pozo		78	4	14		15.00		21	Galvani.	Ranurad.			420	407
RP-28	Ecia Ibasiriri	Pozo		73	4	13		10.00		25	Galvani.	Ranurad.			429	416
RP-29	Yapiroa	Pozo		66	4	14		18.00		21	Galvani.	Ranurad.	900		439	426
RP-30	Cmdad.Capeatindi	Pozo		71	4	14		15.00		21	Galvani.	Ranurad.			455	441
RP-31	Copere Loma I	Pozo		72	4	14		17.00		22	Galvani.	Ranurad.			452	438
RP-32	Copere Brecha II	Pozo		72	4	13		15.00		22	Galvani.	Ranurad.			456	443
RP-33	Copere Guazu III	Pozo		59	4	11		8.00		20	Galvani.	Ranurad.			463	452
RP-34	Cmdad.Nacunday	Noria				6					Palo				471	465
RP-35	Cmdad.Amboro	Noria				7					Palo				478	472
RP-36	Ecia.San Julian	Noria				7					Palo				485	478
RP-37	Carapari	Pozo	511	75	4						Galvani.	Ranurad.			496	
RP-38	Isporenda	Pozo	510	65	4						Galvani.	Ranurad.			503	
RP-39	Casa alta	Pozo		75	4	14		8.50			Galvani.	Ranurad.				
RP-40	Yapuraiti	Noria				6					Palo				514	508
RP-41	Rancho Ipapinta	Noria									Palo				587	
RP-42	Tarenda	Pozo		55	4	10		11.80		18	Galvani.	Ranurad.			598	588

N° Pozo	Localidad	Tipo pozo	Elev. msnm.	Prof. (m.)	Diám. (pulg)	Bajo sup.	msnm	Caudal (l/s)	Capac. (l/h/m)	Nivel Din.	Tipo material		Cond. Eléc.	Fecha Perf.	DEM MSNM	Nivel Estat. MSNM
											Tubos	Filtros				
RP-43	S. Francisco	Pozo		63	6	16		12.00		24	Galvani.	Ranurad.			612	596
RP-44	S. Antonio	Pozo		90	6	24		16.00		49	Galvani.	Ranurad.				
RP-45	Pueblo Nuevo	Pozo			4	30					Galvani.	Ranurad.				659
RP-46	Itaguazurenda	Noria									Ladrillo					
RP-47	Charagua	Pozo									Galvani.	Ranurad.				796
RP-48	Caípepe	Pozo		54	4	7		6.00		12	Galvani.	Ranurad.				744
RP-49	Laguna										Galvani.	Ranurad.				
RP-50	Rancho Nuevo	Noria				8					Palo					
RG-1	Agua Buena	Noria		5	2 mts	4					Palo		3000		440	436
RG-2	Tacobo	Pozo		301	8	160		3.50			Hierro	Jhpson		1995	504	344
RG-3	Cabezas	Pozo		150	7	67		6.00		86	A. Carb.	Persiana		1980	474	407
RG-4	Curiche	Pozo		84	4	8		3.00			A. Carb.	Persiana		1985	420	412
RG-5	Tunalito	Pozo		12	8	4							390	447	443	
RG-6	Río Seco	Pozo		130	6 y 8	10		15.00		49	A. Carb.	Persiana		1998	524	514
RG-7	Florida	Pozo		120	6	20		5.00		59	A. Carb.	Persiana			582	562
RG-8	La Cuta	Pozo													500	
RG-9	Mora	Pozo			6										514	
RG-10	Curitchi	Pozo			4										514	
RG-11	José Gutierrez	Pozo		85	4	35					Galvani.	Ranurad.	750		428	
RG-12	Loma Blanca	Pozo			4						Galvani.	Ranurad.	1120		378	343
RG-13	Jacob Freerer	Pozo		94	4	55					Galvani.	Ranurad.	500		536	
RG-14	Abel Apaza 12	Pozo		85	4	30					Galvani.	Ranurad.	1000		414	359
RG-15	Santa Rosa 13	Pozo		113	4	69					Galvani	Ranurad	1850		374	344
RG-16	Zanja Honda	Pozo		230	4	32		11.00			Galvani	Ranurad	1250		400	331
RG-17	Porvenir 85	Pozo		420	6						A. Carb.	Persian.	395	1998	507	476
RG-18	San Isidro II	Pozo			4						A. Carb.	Persian.	410		574	
RG-19	Pedro Smith	Pozo		100	4	70					Galvani. R	Ranurad	850		452	
RG-20	Jacob Nyfoll	Pozo		84	4	47					Galvani.	Ranurad.	860		411	341
RG-21	S. Juan de C.	Pozo			4						Galvani. R	Ranurad.	1100		389	342
RG-22	Florida Agrif.	Pozo		96	4	36					Galvani	Ranurad-	1100		359	
RG-23	F. de Queso	Pozo		72	3	30					Galvani	Ranurad	1100		351	315
RG-24	B. Almacén	Pozo		80	3	40					Galvani.	Ranurad-	880		364	334
RG-25	Juán Deep	Pozo		110	4	59					Galvani.	Ranurad.	980		396	356
RG-26	Cañaverl II	Pozo		160	4			0.20			Galvani.	Ranurad.	1000	1997	426	367
RG-27	David Piter	Pozo		100	4	76					Galvani.	Ranurad.	1200		420	
RG-28	B7 Campo3	Pozo		90	3	50					Galvani.	Ranurad			462	386
RG-29	B7 Campo4	Pozo		78	4	40					Galvani	Ranurad			425	375
RG-30	Deep Sens	Pozo		78	3	24					Galvani.	Ranurad			394	354
RG-31	Franz Loewen	Pozo		60	3	18					Galvani.	Ranurad			359	335
RG-32	Pedro Freerer	Pozo		65	4	43					Galvani.	Ranurad			351	333
RG-33	Cornelio Class	Pozo		70	3	46					Galvani.	Ranurad.			389	346
															404	358

N° Pozo	Localidad	Tipo pozo	Elev. msnm.	Prof. (m.)	Diám. (pulg)	Bajo sup.	msnm	Caudal (l/s)	Capac. (l/h/m)	Nivel Din.	Tipo material		Cond. Eléc.	Fecha Perf.	DEM MSNM	Nivel Estat. MSNM
											Tubos	Filtros				
RG-34	E. Remples	Pozo		64	4	24						Galvani.	Ranurad.		378	354
RG-35	David Enns	Pozo	408	96	3	50						Galvani.	Ranurad.		436	386
RG-36	Pedro Wisbe	Pozo	378.5	108	3	60						Galvani.	Ranurad.		476	416
RG-37	A. Carrizales	Pozo		225	4							Galvani.	Ranurad.	550	616	
RG-38	E.Abaroa	Pozo		420	6			0.50				Galvani.	Ranurad.	550	700	
OW1	P.Izoog	Pozo	408	50	4	25	383					Galvani.	Ranurac.	680	732	707
OW2	P.Izoog	Pozo	386	50	2	17	363					Galvani.	Ranurad.	520	390	373
OW3	P.Izoog	Pozo	378.5	50	2	20	359					Galvani.	Ranurad.	500	385	365
OW4	P.Izoog	Pozo	353	50	2	24	329					Galvani.	Ranurad.	1300	363	339
OW5	P.Izoog	Pozo	472	60	2							Galvani.	Ranurad.	700	697	
OW6	P.Izoog	Pozo	364	50	4	24	340					Galvani.	Ranurad.	670	372	348
OW7	P.Izoog	Pozo	353	50	2	27	326					Galvani.	Ranurad.	1500	362	335
OW8	P.Izoog	Pozo	339	50	2	23	316					Galvani.	Ranurad.	600	346	323
OW9	P.Izoog	Pozo	345	50	4	23	321					Galvani.	Ranurad.	750	354	331
OW10	P.Izoog	Pozo	372	50	2	18	354					Galvani.	Ranurad.	620	379	361
OW11	P.Izoog	Pozo	371	50	2	22	351					Galvani.	Ranurad.	1800	380	358
OW12	P.Izoog	Pozo	355	50	4	22	333					Galvani.	Ranurad.	1100	365	343
OW13	P.Izoog	Pozo	341	50	2	22	319					Galvani.	Ranurad.	4800	348	328
OW14	P.Izoog	Pozo	330	70	2	20	310					Galvani.	Ranurad.	800	331	314
OW15	P.Izoog	Pozo	320	50	4	17	303					Galvani.	Ranurad.	800	326	308
OW16	P.Izoog	Pozo	310	50	2	18	292					Galvani.	Ranurad.	2200	317	301
OW17	P.Izoog	Pozo		60	2	16						Galvani.	Ranurad.	800	368	347
OW18	P.Izoog	Pozo	357	40	2	21	336					Galvani.	Ranurad.	1850	382	375
OW19	P.Izoog	Pozo	377	56	2	7	370					Galvani.	Ranurad.	5700	353	331
OW20	P.Izoog	Pozo	340	50	4	22	318					Galvani.	Ranurad.	2200	358	339
OW21	P.Izoog	Pozo	348	50	2	19	329					Galvani.	Ranurad.	1050	407	
OW22	P.Izoog	Pozo	398	50	4							Galvani.	Ranurad.	1400	403	378
OW23	P.Izoog	Pozo	386	70	2	25	361					Galvani.	Ranurad.	1577	396	375
PW1	P.Izoog	Pozo	386.2	297	9 5/8	21	365	13.10		1.75		A.Carbo	Persiana	1922	395	373
PW2	P.Izoog	Pozo	387.5	167	9 5/8	22	366	13.20		2		A.Carbo	Persiana	1058		
PW3	P.Izoog	Pozo	388.3	240	12y10	22	366	46.90		15.76		A.Carbo	Persiana	1450		
PW4	P.Izoog	Pozo	386.2	297	9 5/8	21	365	13.10		23.22		A.Carbo	Persiana	1075		
PW5	P.Izoog	Pozo	387.5	167	9 5/8	22	366	13.20		23.73		A.Carbo	Persiana	1500		
PW6	P.Izoog	Pozo	388.3	240	12.1/4	22	366	46.90		37.71		A.Carbo	Persiana	1250		
PW7	P.Izoog	Pozo	393.72	555	12y10	25	369	90.00		36.91		A.Carbo	Persiana	2150		
PW8	P.Izoog	Pozo	393.72	160	12y10	25	369	90.00		39.89		A.Carbo	Persiana	403		
PW9	P.Izoog	Pozo	384	160	12y10	17	368	110.00		30.18		A.Carbo	Persiana	383		
PW10	P.Izoog	Pozo	368.69	150	12y10	21	344	90.00		38.5		A.Carbo	Persiana	371		
PW11	P.Izoog	Pozo	382	154	12y10	22	360	90.00		33.71		A.Carbo	Persiana	1979		
PI-1	Col. Menonitas, Brecha 7	Pozo				15								750	358	343

N° Pozo	Localidad	Tipo pozo	Elev. msnm.	Prof. (m.)	Diám. (pulg.)	Bajo sup.	msnm	Caudal (l/s)	Capac. (l/h/m)	Nivel Din.	Tipo material		Cond. Eléc.	Fecha Perf.	DEM MSNM	Nivel Estat. MSNM
											Tubos	Filtros				
PI-2	Col. Menonitas, Brecha 5,5	Pozo				17							1460		352	335
PI-3	Estancia Almendros	Pozo		280		116							245		387	271
PI-4	Las Brechas	Pozo		47	3	19		3.89	2800	5			540		376	357
PI-5	El Torno	Pozo		70	6	10		6.67	1600	15					513	503
PI-6	La Guardia	Pozo		120	6	34		5.00	1100	16			560		484	450
PI-7	Ayacucho (porongo)	Pozo		93	6	2		12.50	2500	18			180		484	482
PI-8	Ayacucho	Pozo		61	6	8		3.00	2200	5					463	455
PI-9	El Carmen Km 9	Pozo		63	6	12		6.58	1800	13			590		442	430
PI-10	Palmar Aguilera	Pozo		40	3	9		1.67	900	7					398	389
PI-11	Palmar del Oratorio	Pozo		52	3	8		5.00	2600	7			240		409	401
PI-12	Palmar Viruez	Pozo		58	4	13		2.31	1700	5					396	383
PI-13	Paurito	Pozo		98	6	17		6.67	1500	16					356	339
PI-14	Las Petas	Pozo		126	4	0		4.72	5600	3					338	338
PI-15	Barrio Base Aerea Ciudad	Pozo		47	6	14		5.56							423	409
PI-16	Santa Cruz pozo de observacion	Pozo		316	4	16		8.06	7200	4			450		433	417
PI-17	Santa Cruz No. 1A	Pozo		165	14	19		52.78	4900	39			360		427	408
PI-18	Santa Cruz No. 2A	Pozo		161	14	22		61.11	5600	39			360		427	405
PI-19	Santa Cruz No. 3A	Pozo		172	14	24		33.33	10000	12					429	405
PI-20	Santa Cruz No. 4A	Pozo		175	14	19		50.00	3100	57			390		429	410
PI-21	Santa Cruz No. 1	Pozo		181	14	20		38.89	4000	35			350		429	409
PI-22	Santa Cruz No. 3	Pozo		182	14	30		61.11	11000	20			350		427	397
PI-23	Santa Cruz No. 5	Pozo		80	8	28		13.89	1800	27			300		427	399
PI-24	Santa Cruz No. 6	Pozo		80	6	29		2.78	12000	4			260		423	394
PI-25	Izozeg Nuevo	Pozo		61	6	19		2.50	3300	3					409	390
PI-26	Pampa de la Isla, Km 3	Pozo		46	4	46		3.33	3000	3					404	358
PI-27	Clara Cuta	Pozo			4	41		8.33	4000	3					407	366
PI-28	La Habra	Pozo		136	4	10		1.00	2000	15					348	338
PI-29	Enconada	Pozo		72	2	21		2.50	240	15			620		344	323
PI-30	Enconada	Pozo			4	15		2.50	2200	4					339	324
PI-31	La Enconadita	Pozo		35	4	17		2.50	2200	4					336	319
PI-32	Puerto Pailas	Pozo		118	6	7		5.00	3600	5			480		292	285
PI-33	Montero Hoyos	Pozo		153	6	14		9.17	700	44					302	288
PI-34	San Lorenzo	Pozo		82	4	19		2.50	4500	2					286	267
PI-35	Santa Clara	Pozo		250	12	8		88.89	8000	40			400		351	343
PI-36	Montero Hoyos (A. Porables)	Pozo			6	14		3.33					480		292	278
PI-37	Terebinto	Pozo		102	6	12		7.22	8700	3					419	407
PI-38	San Pedro	Pozo		161	4			0.00							465	
PI-39	El Remate	Pozo		63	4	3		2.22	1600	5					400	397
PI-40	Algodonera	Pozo		189	10	12		51.39	7400	25					354	342
PI-41	Algodonera	Pozo		84	6	12		12.50	7500	6					356	344
PI-42	Algodonera	Pozo		105	6	11		12.50	2000	22					354	343
PI-43	Las Barreras	Pozo		90	6	8		5.56	400	54					326	318

























N° Pozo	Localidad	Tipo pozo	Elev. msnm.	Prof. (m.)	Diám. (pulg)	Bajo sup.	msnm	Caudal (l/s)	Capac. (l/h/m)	Nivel Din.	Tipo material		Cond. Eléc.	Fecha Perf.	DEM MSNM	Nivel Estat. MSNM
											Tubos	Filtros				
PI-44	Las Barreras	Pozo		55	4	7		10.00	200	28					321	314
PI-45	El Carmen	Pozo		72	4	4		15.56	400	14					323	319
PI-46	El Barrial - Candelaria	Pozo		62	4	10		2.50	1800	5					328	318
PI-47	Santa Rosario	Pozo		52	4	12		0.83	200	13					319	307
PI-48	La Finca	Pozo		53	4	11		1.00	1200	3					317	306
PI-49	Santa Ana	Pozo		123	4	0		5.56	10000	2					311	311
PI-50	Los Ciervos	Pozo		64	4	12				3					278	266
PI-51	Col Okinawa No. 2	Pozo		98	6	6							540		274	268
PI-52	Col. Okinawa	Pozo		91	4	1		5.56	20000	1					277	276
PI-53	Col Okinawa No. 2	Pozo		90									490		260	260
PI-54	Cachuela Esperanza	Pozo		87	4	5		7.22	3700	7					265	260
PI-55	Las Maras	Pozo		97	6	1		13.89	1300	39					276	275
PI-56	Los Chacras (La Rochela)	Pozo		117	4	4		3.33	800	15					262	258
PI-57	Paisaje Afuera	Pozo		49	6	1		11.11							282	281
PI-58	Col. Okinawa	Pozo		96	3	3				12					256	253
PI-59	Col Okinawa No. 1	Pozo		42	4	6				10					253	247
PI-60	El Retiro No. 1	Pozo		82	4	1		5.56	4000	5					255	254
PI-61	El Retiro No. 2	Pozo		79	4	1		5.56	5000	4					259	258
PI-62	Valle Chico	Pozo		40	4	4		6.94	12000	2					262	258
PI-63	Caranda	Pozo		202	5			15.00							371	371
PI-64	San Carlos	Pozo				6							320		330	324
PI-65	Bélgica	Pozo		132	12	6		7.78	8500	27			420		358	352
PI-66	Colpa Arriba	Pozo		109	6	27		5.56	900	23					355	328
PI-67	Porrachuelo	Pozo		93	6	4		19.44	1700	4			124		295	291
PI-68	Azubi	Pozo		76	6	6		4.17	1700	9					272	266
PI-69	Puesto Viejo	Pozo		60	4	4		6.67	1700	14					262	258
PI-70	Loma Alta	Pozo		111	6	19		5.00	900	21					277	258
PI-71	Rincón de Palometa	Pozo		105	6	1		5.56	2200	9					259	258
PI-72	Estrella de Oriente	Pozo		61	6	4		5.56	5000	4					240	236
PI-73	El Torno	Pozo		125	4										308	308
PI-74	Montero	Pozo		103	10	6		30.83	2600	31			910		299	293
PI-75	Montero	Pozo		102	12	4		13.89	1900	27					297	293
PI-76	Guabira Regimiento Manchego	Pozo		65	4	3		2.78	3300	3					297	294
PI-77	Saavedra	Pozo		105	6	2		6.67	8000	3					275	273
PI-78	Saavedra Exp. Sta.	Pozo		85	8	3		26.94	3600	27					275	272
PI-79		Pozo													262	262
PI-80	Las Petas	Pozo		130	4	1		5.56	2200	9					264	263
PI-81	Santa Teresita	Pozo		68	4	3		3.33	600	21					265	262
PI-82	Col. Aroma No.1	Pozo		58	4	2		2.78	1400	7					261	259
PI-83	San Juan Bremen	Pozo		126	3	1		5.56	600	34					257	256
PI-84	Santa Rita	Pozo		50	4	2		50.00	13000	14					259	257
PI-85	Mineros	Pozo		171	6	0		5.00	600	30			490		258	258

Nº Pozo	Localidad	Tipo pozo	Elev. msnm.	Prof. (m.)	Díam. (pulg)	Bajo sup.	msnm	Caudal (l/s)	Capac. (l/h/m)	Nivel Din.	Tipo material		Cond. Eléc.	Fecha Perf.	DEM MSNM	Nivel Estat. MSNM
											Tubos	Filtros				
PI-86	Chane Rivero	Pozo		54	3	6		2.78	600	17					249	243
PI-87	Faja 27 de Mayo	Pozo		62	4	2		2.22	800	10					248	246
PI-88	Faja 12 de octubre	Pozo		50	4	7		1.11	2000	2					242	235
PI-89	Faja Mariscal Sucre	Pozo		94	4	0		4.17	4300	3					242	242
PI-90	Chane Independencia	Pozo		170	4			0.02							236	
PI-91	Chane Magalleres	Pozo		117	4			1.39							239	
PI-92	Murillo Topater	Pozo		150	6			0.18							235	
PI-93	Centro Murillo	Pozo		154	6			5.69							238	
PI-94	Faja 6 de Agosto	Pozo		92	4	4		2.22	700	11					235	231
PI-95	Sagrado Corazón	Pozo		168	4			2.22							237	
PI-96	Puerto Villarreal	Pozo		169	4			2.78							238	
PI-97	San Silvestre	Pozo		163	4										232	
PI-98	Col Hardeman	Pozo		144	4			0.01							230	
PI-99	La Porfia	Pozo		129	4			4.17							234	
JL-1	Monte Verde	Pozo		86		9		5.00		21.25				2000	250	241
JL-2	San Julian	Pozo		115		10		5.00		91				2002	247	237
JL-3	Tunas	Pozo		237		5		3.00		57.7				1999	270	265
JL-5	Rosal Cen.	Pozo		110		10		6.00		21.8				2002	302	292
JL-4	Tres Cruces	Pozo		160		0		5.00						2002		
JL-6	V. Hermoso	Pozo		105		5		3.00		12				1999	300	295
JL-7	Zafretero	Pozo		115		7		5.00		16.6				2001	226	219

10.5. DATOS DE RIEGO

Se compiló la siguiente información sobre empresas que venden sistemas comerciales de riego para que el

lector se pueda actualizar en cuestiones de precios y novedades de sistemas de riego disponibles:

1.	Agro Industrial Pichanal S.R.L. (www.agroindpichanal.com.ar)  Venta de tractores Zanella - sembradoras Bertini- acoplados y remolques Ombu. riego por goteo - mangueras y cintas para invernaderos [Argentina]
2.	Azud - La Cultura del Agua (www.azud.com)  Sistemas de riego filtrado [España]
3.	Broyhill (www.broyhill.com)  Empresa proveedora de equipos para la aplicación de diferentes compuestos líquidos y de mantenimiento de parques, campos de golf y pistas de turf. [Estados Unidos]
4.	Cometal (www.cometal.es)  Empresa española que fabrica productos para el riego como aspersores, válvulas hidráulicas, pilotos, equipos para válvulas, nebulizadores y accesorios para aspersores. [España]
5.	Equipment locator service (www.machinefinder.com)  Clasificados de equipos de riego usados en EEUU y Canadá. [Estados Unidos]
6.	Eurodrip, Inc. (www.eurodrip.com)  Riego por goteo. [Estados Unidos]
7.	Harnois (www.harnois.com)  Invernaderos para horticultura, equipamientos varios; equipos de riego. [Estados Unidos]
8.	Herbo Riego S.R.L. (www.herboriego.com)  Empresa con más de 17 años de experiencia en la provisión de soluciones de riego de alta tecnología.[Argentina]
9.	Hispano Aspersión S.L. (www.hispanoaspersion.com)  Empresa de la región española de Balañes que fabrica y distribuye materiales relacionados con el riego.[España]
10.	Ingeniería en Riego (www.ingenieria-en-riego.com)  Empresa dedicada a la venta de sistemas de riego, aspersores, goteo, microaspersores, cabezales, pivot, etc.[Argentina]
11.	John Deere Argentina (www.johndeere.com.ar)  Fábrica de motores diesel. Para riego, uso vehicular, motocompresores, equipos de fuerza y generación eléctrica. [Argentina]
12.	Librería Virtual (Riego) (http://www.wiz.uni-kassel.de/kww/projekte/irrig/irrig_i.html)  Contiene información detallada sobre Congresos y Conferencias Internacionales, foros de discusión y como suscribirse.[Alemania]
13.	Lindsay Manufacturing (www.zimmatic.com)  Equipos de riego. Fábrica Lindsay.[Estados Unidos]
14.	P&R Argentina S.A. (www.pyrargentina.com.ar)  Productos para Riego por Caudal Discontinuo[Argentina]
15.	Regamatic (www.regamatic.com)  Equipos para riego.[Argentina]
16.	Reinke Mfg and Irrigation Co. (www.reinke.com)  Equipos de riego.[Estados Unidos]
17.	Riego Integral - Naan Argentina (www.riegointegral.com.ar)  Riego Integral representa en forma exclusiva en Argentina a Naan Irrigation Systems de Israel (esta última cuenta con más de 50 años de experiencia a nivel internacional desarrollando tecnología de riego.[Argentina]
18.	Tabarés (www.tabares.com.ar)  Fábrica de equipos y sistemas de riego por aspersión de baja presión situada en Necochea, provincia de Buenos Aires.[Argentina]
19.	T-L Irrigation (www.tlirr.com)  Equipos de riego.[Estados Unidos]
20.	Twin Drops Ibérica (www.twindrops.es)  Fabricación de sistemas para riego.[España]
21.	Water Rite Products (www.waterrite.com)  Equipos de riego por goteo.[Estados Unidos]
22.	Werecon (www.banet.com/werecon)  Equipos de riego para agricultura.[Estados Unidos]
23.	Zimmatic Irrigation Products (www.zimmatic.com)  Sistemas de riego.[Estados Unidos]
24.	NaanDan Irrigation (www.naan.co.il/naan/)  Sistemas de riego .[internacional]

Fuente: <http://www.elsitioagricola.com/> y compilación de varios otros sitios.

Representates de Lindsay International en Bolivia:


Agripac Boliviana

Libertad No. 686

Santa Cruz, 322002, Bolivia

Tel.: [591] (3) 3341012

Fax: 591-3-334-1012

 Página web en idioma español

 Página web en idioma inglés

10.6. COEFICIENTES DE CULTIVO (Kc) PARA CÁLCULO DE NECESIDADES DE AGUA PARA CULTIVOS TÍPICOS

Tabla 10.4.
Coeficientes de cultivo (kc) para valles mesotérmicos y chaco (Fuente: PRONAR)

Nº	Ciclo Cultivos	Ciclo Veget. (días)	Coeficientes De Cultivo (Kc)											
			0.50	0.65	0.85	0.65	0.80							
1	Achojcha	120	0.50	0.65	0.85	0.65								
2	Ají (tardía)	150	0.35	0.65	0.95	1.05	0.80							
3	Ají (temprana)	120	0.30	0.60	0.95	0.80								
4	Alcachofa	330	0.32	0.66	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	
5	Algodón	180	0.34	0.77	0.98	1.20	0.92	0.65						
6	Arveja (grano)	150	0.40	0.77	1.15	1.02	0.90							
7	Arveja (verde)	120	0.45	0.80	1.15	1.02								
8	Avena (forrajera)	120	0.32	0.73	1.15	0.75								
9	Avena (grano)	180	0.43	0.79	0.97	1.15	0.67	0.20						
10	Caña de azúcar	365	0.45	0.65	0.75	0.85	1.02	1.20	0.97	0.86	0.80	0.78	0.76	0.75
11	Cebolla (cabeza)	150	0.43	0.74	1.05	0.92	0.80							
12	Cebolla (verde)	120	0.42	0.73	1.05	0.92								
13	Ciruelo	270	0.50	0.75	0.95	1.00	1.00	0.95	0.90	0.85	0.70			
14	Cítricos	365	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.80	0.80	0.75	0.75	0.80	0.80	0.80
15	Cucurbitáceas	150	0.37	0.68	1.00	0.87	0.75							
16	Damasco	270	0.55	0.95	1.05	1.15	1.15	1.15	1.10	0.90	0.85			
17	Durazno	270	0.55	0.95	1.05	1.15	1.15	1.15	1.10	0.90	0.85			
18	Frejol (grano)	150	0.41	0.78	1.15	0.70	0.25							
19	Frejol (verde)	120	0.45	0.72	1.00	0.90								
20	Frutilla	270	0.50	0.65	0.80	0.85	0.95	0.90	0.87	0.80	0.65			
21	Girasol	150	0.33	0.74	1.15	0.75	0.35							
22	Hortalizas menores	90	0.36	1.00	0.90									
23	Locoto	180	0.35	0.45	0.80	1.00	1.03	0.95						
24	Maíz (choclo)	120	0.32	0.73	1.15	0.60								
25	Maíz (grano)	150	0.31	0.73	1.15	0.87	0.60							
26	Maní (tardía)	210	0.41	0.73	0.89	1.05	0.82	0.71	0.60					
27	Maní (temprana)	180	0.31	0.68	0.86	1.05	0.82	0.60						
28	Papa (intermedia)	150	0.33	0.74	1.15	0.95	0.75							
29	Papa (tardía)	180	0.33	0.74	1.15	0.95	0.87	0.75						
30	Papa (temprana)	120	0.41	0.78	1.15	0.75								
31	Pimenton	150	0.41	0.73	1.05	0.95	0.85							
32	Remolacha	150	0.34	0.69	1.05	1.00	0.95							
33	Remolacha forrajera	180	0.42	0.78	0.96	1.15	1.07	1.00						
34	Sandía	150	0.43	0.71	1.00	0.92	0.85							
35	Sorgo	120	0.32	0.71	1.10	0.55								
36	Soya	120	0.30	0.45	0.77	1.10	0.45							
37	Tabaco	180	0.34	0.72	0.91	1.10	1.02	0.95						
38	Tomate (tardía)	150	0.45	0.82	1.01	1.20	0.92	0.65						
39	Tomate (temprana)	120	0.41	0.82	1.20	0.65								
40	Trigo (invierno)	150	0.40	0.45	0.80	1.15	0.67	0.20						
41	Vid	240	0.35	0.60	0.70	0.70	0.70	0.65	0.50	0.30				
42	Yuca	270	0.45	0.65	0.70	0.95	0.85	0.80	0.75	0.65	0.55			
43	Zanahoria	150	0.38	0.74	1.10	0.95	0.80							