General Disclaimer

One or more of the Following Statements may affect this Document

- This document has been reproduced from the best copy furnished by the organizational source. It is being released in the interest of making available as much information as possible.

- This document may contain data, which exceeds the sheet parameters. It was furnished in this condition by the organizational source and is the best copy available.

- This document may contain tone-on-tone or color graphs, charts and/or pictures, which have been reproduced in black and white.

- This document is paginated as submitted by the original source.

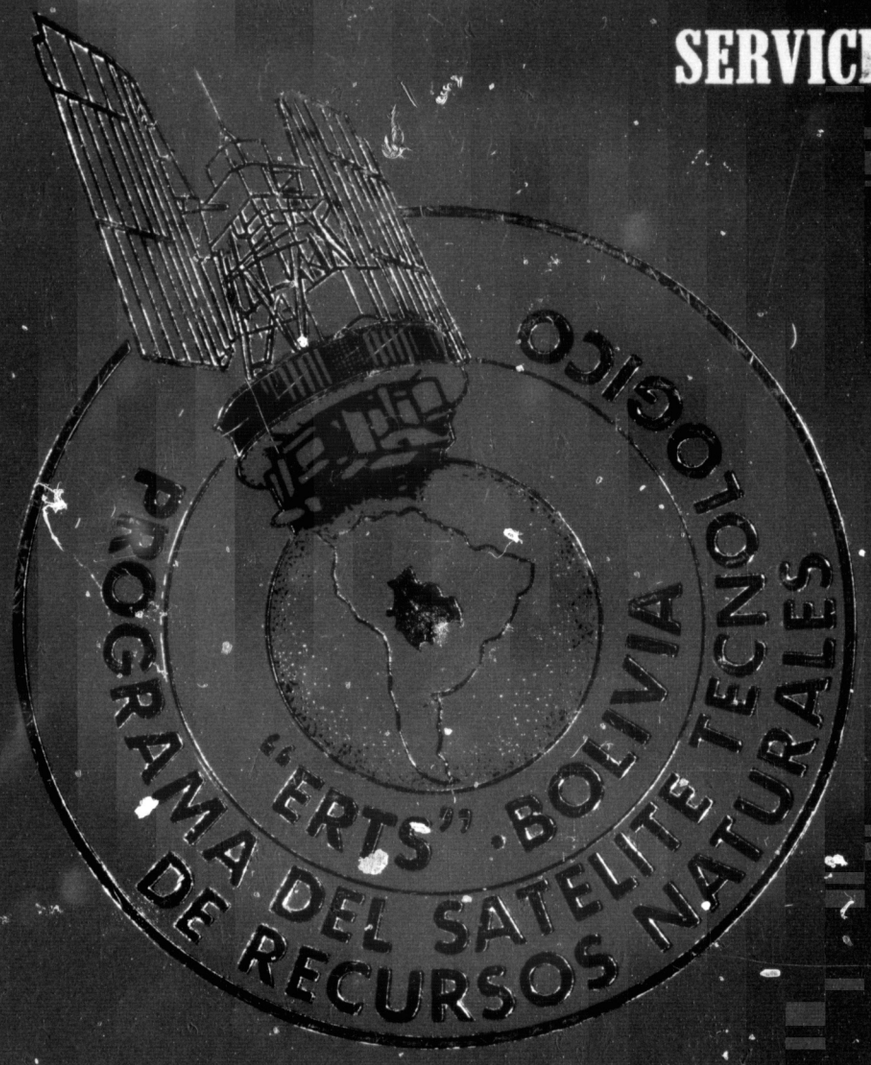
- Portions of this document are not fully legible due to the historical nature of some of the material. However, it is the best reproduction available from the original submission.

Produced by the NASA Center for Aerospace Information (CASI)

"Made available under NASA sponsorship
In the interest of early and wide dissemination of Earth Resources Survey
Program information and without liability
for any use made thereof."

PROGRAMA DEL SATELITE TECMA
DE RECURSOS NATURALES ERTRSOS
SERVICIO GEOLOGICO DE BOLICIO

(E78-1
PROGRA
Geologi
HC A08/



MINISTERIO DE MINERIA Y METALURGIA

GEOBOL

MA DEL SATELITE TECNOLOGICO
SOS NATURALES ERTS - BOLIVIA
CIO GEOLOGICO DE BOLIVIA

E 78-10087
CR-155765

(E78-10087) BOLIVIAN SATELLITE TECHNOLOGY PROGRAM ON ERTS NATURAL RESOURCES (Servicio Geologico de Bolivia, La Paz.) 168 p HC A08/MF A01 CSCL 08G

N78-19566

Unclas G3/43 00087

PROCESAMIENTO DIGITAL DE DATOS MULTIESPECTRALES

AREA DESAGUADERO

PROYECTO EXPERIMENTAL

MAR 1978
RECEIVED
NASA STI FACILITY

CONTRIBUCION ESPECIAL 1
SERIE SENSORES REMOTOS
JULIO 1977

"Made available under NASA sponsorship in the interest of early and wide dissemination of Earth Resources Survey Program information and without liability for any use made thereof."

PROGRAMA DEL SATELITE TE AMA
DE RECURSOS NATURALES ER RSOS
SERVICIO GEOLOGICO DE I VICI

PRO

Original photography may be
EROS Data Center

Sioux Falls, SD

A

ORIGINAL CONTA
COLOR ILLUSTRAT

MINISTERIO DE MINERIA Y METALURGIA

GEOBOL

/

E 7.8 160.875
CR-155765

AMA DEL SATELITE TECNOLOGICO
RSOS NATURALES ERTS - BOLIVIA
VICIO GEOLOGICO DE BOLIVIA

PROCESAMIENTO DIGITAL DE DATOS MULTIESPECTRALES

AREA DESAGUADERO

PROYECTO EXPERIMENTAL

Original photography may be purchased from
EROS Data Center

Sioux Falls, SD

ORIGINAL CONTAINS
COLOR ILLUSTRATIONS

CONTRIBUCION ESPECIAL 1
SERIE SENSORES REMOTOS
JULIO 1977

1A

A U T O R E S

Dr. Carlos Brockmann H.
DIRECTOR PROGRAMA ERTS-BOLIVIA

LARS-PURDUE UNIVERSITY
Dr. Luis Bartolucci C.
Dr. Robert Hoffer
Dr. D.W. Levandowski

PROGRAMA ERTS-GEOBOL
Ing. Isaac Ugarte
Ing. René Valenzuela R.

PROGRAMA ERTS.
Ing. Moisés Ureña E.
Ing. Reynaldo Oros

INDICE

LISTA DE FIGURAS pág. 4 LISTA DE MAPAS pág. 5 LISTA DE TABLAS pág. 6

RESUMEN 7
INTRODUCCION 9
OBJETIVOS DEL PROYECTO 10
DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO 11
- Generalidades 11
- Complejo Montañoso 11
- Altiplano 13
- ComplejoVolcánico 13
- Clima 13
- Accesibilidad 14
- Flora 14
- Fauna 14

DATOS UTILIZADOS 15
ANALISIS DE DATOS 18
- Pre-procesamientos de Datos 18
- Procesamiento de datos 19

RESULTADOS DEL ANALISIS DIGITAL 29
EVALUACION DE RESULTADOS 31
- Generalidades 31

APLICACIONES EN EL MAPEO GEOLOGICO 32
- Cuadrángulo Choquecota 32
- Cuadrángulo Huayllamarca 34
- Cuadrángulo Jesús Machaca 34

APLICACIONES EN EL MAPEO DE SUELOS 35
- Generalidades 35
- Objetivos 35

RESULTADOS PRELIMINARES 35
- Area Huayllamarca 35
- Area Eucaliptus 38

METODOLOGIA DE TRABAJO 37
RESULTADOS FINALES 39
LEYENDA DEL MAPA DE SUELOS 39
CLASIFICACION DE SUELOS 42
CONCLUSIONES 48
RECOMENDACIONES 48
APLICACIONES EN EL MAPEO DE USO ACTUAL DE LA TIERRA 50
- Generalidades 50
- Objetivos 50

RESULTADOS 50
- Area de Huayllamarca 52
- Area de Eucaliptus 52

METODOLOGIA DE TRABAJO 50
RESULTADOS FINALES 51
DESARROLLO DE LA LEYENDA DE USO ACTUAL DE LA TIERRA 54
DESCRIPCION DE LAS UNIDADES DE USO ACTUAL DE LA TIERRA 54
CONCLUSIONES 58
RECOMENDACIONES 58

LIST OF TA
ABSTRAC
INTRODU
PROYECT
TEST SITE
- Gener
- Moun
- Altip
- Volca
- Clima
- Acces
- Flora
- Faun

UTILIZED
ANALYSIS
- Pre-pr
- Proces
- DIGIT

PRELIMIN
- Gener

APLICATI
- Quadr
- Quadr
- Quadr

APPLICAT
- Gener
- Object

PRELIMIN
- Huayl
- Eucali

METHODO
FINAL RES
SOIL MAP
CLASSIFIC
CONCLUS
RECOMEN
APPLICAT
- Gener
- Objeti

RESULTS
- Huayl
- Eucali

METHODO
FINAL RES
DEVELOP RA
DESCRIPT
CONCLUS
RECOMEN

2A

CONTENTS

LIST OF FIGURES pág. 4 LIST OF MAPS pág. 5 LIST OF TABLES pág. 6

ABSTRACT 7
INTRODUCTION 9
PROYECT OBJECTIVES 10
TEST SITE DESCRIPTION 11
- General 11
- Mountain Complex (Paleozoic Block) 11
- Altiplano 13
- Volcanic Complex (Wetern Cordillera) 13
- Climate 14
- Accessibility 14
- Flora 14
- Fauna 14

UTILIZED DATA 15
ANALYSIS DATA 18
- Pre-processing data 18
- Processing data 18
- DIGITAL ANALYSIS RESULTS 29

PRELIMINARY EVALUATION OF RESULTS 31
- General 31

APLICATIONS TO GEOLOGIC MAPPING 32
- Quadrangle Choquecota 32
- Quadrangle Huayllamarca 34
- Quadrangle Jesús de Machaca 34

APPLICATIONS OF DIGITAL CLASSIFICATION TO SOIL MAPPING 35
- General 35
- Objectives 35

PRELIMINARY RESULTS 35
- Huayllamarca area 35
- Eucaliptus area 38

METHODOLOGY 37
FINAL RESULTS 39
SOIL MAP LEGEND 39
CLASSIFICATION OF SOILS 42
CONCLUSIONS 48
RECOMENDATIONS 48
APPLICATION OF DIGITAL CLASSIFICATION TO ACTUAL LAND USE MAPPING 50
- General 50
- Objetives 50

RESULTS 50
- Huayllamarca area 52
- Eucaliptus area 52

METHODOLOGY 50
FINAL RESULTS 51
DEVELOPMENT OF THE ACTUAL LAND USE LEGEND 54
DESCRIPTION OF THE ACTUAL LAND USE UNITS 54
CONCLUSIONS 58
RECOMENDATIONS 58

LISTA DE FIGURAS

Figuras	Detalle	Página
1	Fotomosaico de imágenes LANDSAT cubriendo el territorio boliviano, localización del área de estudio.	12
2	Imagen LANDSAT del río Desaguadero, montrando los Departamentos de La Paz, Oruro, límites provinciales y poblaciones importantes.	12
3	Ubicación de las tres provincias fisiográficas mayores presentes en el área de la imagen Desaguadero.	12
4	Imágenes en blanco y negro de las cuatro bandas de LANDSAT del área del Desaguadero.	12
5	Ubicación de misiones aéreas fotográficas multiespectrales (líneas de vuelo)	17
6	Ejemplos de cuatro fotografías aéreas multiespectrales del área Laguna Parkhokhota.	17
7	Composición IR color, corregida geométricamente	20
8	División de la imagen LANDSAT del Desaguadero en 15 cuadrángulos.	20
9	Procesadores del análisis del sistema "Software" de LARSYS.	21
10	Secuencia de análisis LARSYS para la clasificación multiespectral de datos de LANDSAT-1 Desaguadero	23
11	Salida en línea pictórica en escala gris (PICTUREPRINT) de un área de la imagen LANDSAT del Desaguadero	23
12	Mapa de dispersión "cluster" del área delimitada en la figura 11	23
13	Separabilidad espectral de todos los pares posibles de combinaciones de las clases de dispersión "Cluster"	25
14	Relación entre la divergencia transformada y la probabilidad (en porcentaje) de una clasificación correcta.	25
15	Medias y varianzas de las clases espectrales definidas por el procesador de dispersión. Area Laguna Parkhokhota.	26
16	Histogramas de una clase de dispersión "cluster" en las cuatro bandas de longitud de onda de LANDSAT MSS. Area Laguna Parkhokhota.	26
17	Diseño espectral coincidente para 8 clases definidas por dispersión	28
18	Mapa de clasificación alfanumérico producido por el procesador PRINTRESULTS de LARSYS.	28

Figures	
1	LAN[illegible] test s[illegible]
2	LAN[illegible] ro an[illegible]
3	Loca[illegible] el ár[illegible] Rive[illegible]
4	Black[illegible] el ár[illegible] area[illegible]
5	Loca[illegible] de vu[illegible]
6	Exam[illegible] area Lagu[illegible]
7	Geom[illegible] LAN[illegible]
8	Divis[illegible] los.
9	Anal[illegible]
10	LAR[illegible] Desa[illegible] de dat[illegible]
11	Gray[illegible] the D[illegible] rea de[illegible]
12	Clus[illegible]
13	Spec[illegible] es de l[illegible]
14	Rela[illegible] of co[illegible] rcen[illegible]
15	Mea[illegible] cess[illegible] ador[illegible]
16	Hist[illegible] band[illegible] ndas[illegible]
17	Coin[illegible]
18	Alph[illegible] SUL[illegible] PRI[illegible]

LIST OF FIGURES

Página	Figures		Page
N...viano, t si... 12	1	LANDSAT photomosaic covering the Bolivian territory. Localization of test site...	12
N...ntos de an... 12	2	LANDSAT frame of the Desaguadero River The Department La Paz, Oruro and province boundaries, and most important towns in the area. ...	12
ca...el área ve... 12	3	Location of three physiographic provinces present in the Desaguadero River test site. ...	12
ac...el área ea... 12	4	Black and white imagery in the four LANDSAT bands of the Desaguadero area...	16
...cade vue- ... 17	5	Location of the multiespectral prhotographic aerial missions (flight lines).	17
...am ...ea. Laguna ... 17	6	Example of four multiespectral aerial photograps in Parkhokhota Lake area. ...	17
...om ...AN... 20	7	Geomatrically corrected color IR composite of the Rio Desaguadero LANDSAT frame. ...	20
...los. ... 20	8	Divisions of the Desaguadero LANDSAT frame into fifteen quadrangles. ...	20
...... 21	9	Analysis processors of the LARSYS softwate system. ...	21
...de datos AR... 23	10	LARSYS analysis sequence used for the multiespectral classification of the Desaguadero LANDSAT-1 MSS data ...	21
...ea de la ra... 23	11	Gray scale pictorial line printer output (PICTUREPRINT) of an area of the Desaguadero LANDSAT frame. ...	23
...e D... 23	12	Cluster map of the area outlined in Figure 11. Laguna Parkokota area. ...	23
...us... ...es de las ...ec... 25	13	Spectral separability of all possible pair combinations of cluster classes...	25
...ela... ...orcenta- ...co... 25	14	Relationship between transformed divergence and probability (in percent) of correct classification. ...	25
...ea... ...sador de ...sso... 26	15	Means and variances of the spectral classes defined by the clustering processor. Laguna Parkokota area. ...	26
...ist... ...ndas de ...an... 26	16	Histograms of one cluster class in the four LANDSAT MSS wavelenght bands. Laguna Parkokota area. ...	26
...oin... 28	17	Coincident spectral plot for the 8 classes defined by clustering...	28
...ph... PRIN- ...UL... 28	18	Alphanumeric classification map produced by the LARSYS *PRINTRESULTS processor...	28

19 Mapa codificado a color de clasificación producido por el procesamiento PHOTO de LARSYS..... 28

20 Mapa de clasificación multiespectral del cuadrángulo de Choquecota..... 33

21 Mapa de clasificación multiespectral del cuadrángulo de Huayllamarca 33

22 Mapa de clasificación multiespectral del cuadrángulo de Jesús de Machaca..... 40

23 Fotografía del impreso del clasificación alfanumérico codificado a color de un sector del cuadrángulo de Jesús de Machaca. 40

24 Mapa de clasificación multiespectral del cuadrángulo de Eucaliptus. 41

LISTA DE MAPAS

Mapa No.	Detalle
1	Mapa de suelos escala 1:50.000 sector E. del cuadrángulo de Huayllamarca.
2	Mapa de suelos escala 1:50.000 sector W. del cuadrángulo de Eucaliptus.
3	Mapa de Uso Actual de la Tierra escala 1:50.000 sector E. del cuadrángulo de Huayllamarca.
4	Mapa de Uso Actual de la Tierra escala 1:50.000 sector W. del cuadrángulo de Eucaliptus.

LISTA DE TABLAS

Tabla No.	Descripción	Página
1	Descripción de los colores de la clasificación multiespectral de suelos en el área Huayllamarca.	36
2	Descripción de los colores de la clasificación multiespectral de suelos en el área Eucaliptus.	38
3	Agrupación de clases espectrales y simbología en los mapas finales	43
4	Leyenda del mapa de suelos.	49
5	Relación de las clases espectrales con las unidades de Uso Actual de la Tierra Huayllamarca	52
6	Relación de las clases espectrales con las unidades de Uso Actual de la Tierra Eucaliptus.	52
7	Relación de símbolos alfanuméricos con tipos de suelos y unidades de Uso Actual de la Tierra	53

4 B

procesamiento 28

oquecota. 33

ayllamarca 33

sús de Machaca. 40

cado a color de 40

caliptus. 41

19 Color-coded clasification map produced by the LARSYS *PHOTO processor. 28

20 Multispectral classification map of the Choquecota quadrangle. 33

21 Multispectral classification map of the Huayllamarca quadrangle. 33

22 Multispectral classification map of the Jesús de Machaca quadrangle. 40

23 Photograph of a color-coded alphanumeric classification. printout of a portion of the Jesús de Machaca quadrangle. 40

24 Multiespectral classification map of the Eucaliptus quadrangle. 41

LIST OF MAPS

gulo de Huay-

de Eucaliptus.

el cuadrángulo

del cuadrángulo

Map No. Detail

1-2 Soil map area E. Huayllamarca quadrangle. (Huayllamarca North and Huayllamarca South)

3-4 Soil map area W. Eucaliptus quadrangle (Eucaliptus North and Eucaliptus South)

5-6 Land Use map. Area E. Huayllamarca quadrangle. (Huayllamarca North and Huayllamarca South)

7-6 Land Use map. Area W. Eucaliptus quadrangle. (Eucaliptus North and Eucaliptus South)

LIST OF TABLES

Página

de suelos en el 36

de suelos en el 38

finales 43

..... 49

o Actual de la 52

o Actual de la 52

nidades de Uso 53

Table No. Description Page

1 Description of colors of the multiespectral Soil Classification in the Huayllamarca area. 36

2 Description of colors of the Multiespectral Soil classification in the Eucaliptus area. 38

3 Grouping of Spectral classes and Symbols Used in the final maps. 33

4 Soil map Legend. 49

5 Relation of the spectral classes with the Actual Land Use units Huayllamarca. 52

6 Relation of the Spectral classes with the Actual land Use units Eucaliptus. 52

7 Relation of alphanumeric symbols with soil types and Actual Land Use Units. 53

BIBLIOGRAFIA – BIBLIOGRAPHY

NASA — "ERTS Data Users Handboock" Document No. 5154249, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland 1972

ANUTA P.E. — "Geometric Correction of ERTS-1 Digital Multiespectral Scanner Data" LARS Information Note 103073, Laboratory for Applications of Remote Sensing. Purdue University, West Lafayette - Indiana U.S.A. 1973

WACKER, A.G. and D.A. LANDGREBE — "Minimun Distance Classification in Remote Sensing" LARS. Information Note 030772 Laboratory for Applications of Remote Sensing, Purdue University. West Lafayette - Indiana U.S.A. 1972.

SWAIN P.H., T.V. ROBERTSON AND A.G. WACKER — "Comparison of the Divergence and B-Distance in Feature Selection". LARS Information Note 020871 Laboratory for Applications of Remote Sensing Purdue University. West Lafayette - Indiana U.S.A. 1971

CARDILLO G.P. AND D.A. LANDGRE–BE — "On Pattern Recognition". LARS Information Note 101866 Laboratory for Applications of Remote Sensing, Purdue University. West Lafayette, Indiana 1966.

UGARTE M. ISAAC VALENZUELA R. RENE — Procesamiento Digital de Datos Multiespectrales vía computadora de la imagen Desaguadero ERTS-Bolivia. Programa del Satélite Tecnológico de Recursos Naturales. La Paz - Bolivia 1976

RESUMEN

Este informe presenta los resultados de un proyecto de investigación cooperativo conducido por el Programa ERTS Bolivia y el Laboratorio para la Aplicación de Percepción Remota (LARS), Universidad de Purdue, bajo el auspicio del Centro de Investigación de Desarrollo Internacional del Canadá.

El propósito de este estudio es demostrar la aplicación de técnicas de análisis con ayuda de computadoras (CAAT) en el mapéo de tipos mayores de cubierta del terreno (con énfasis en el mapéo geológico, suelos y uso actual de la tierra) en una región de Altiplano boliviano, usando información digital de LANDSAT MSS.

Para la realización del presente trabajo, se entrenó a un equipo de profesionales bolivianos en el método de procesamiento digital LARSYS Versión 3.

ABSTRACT

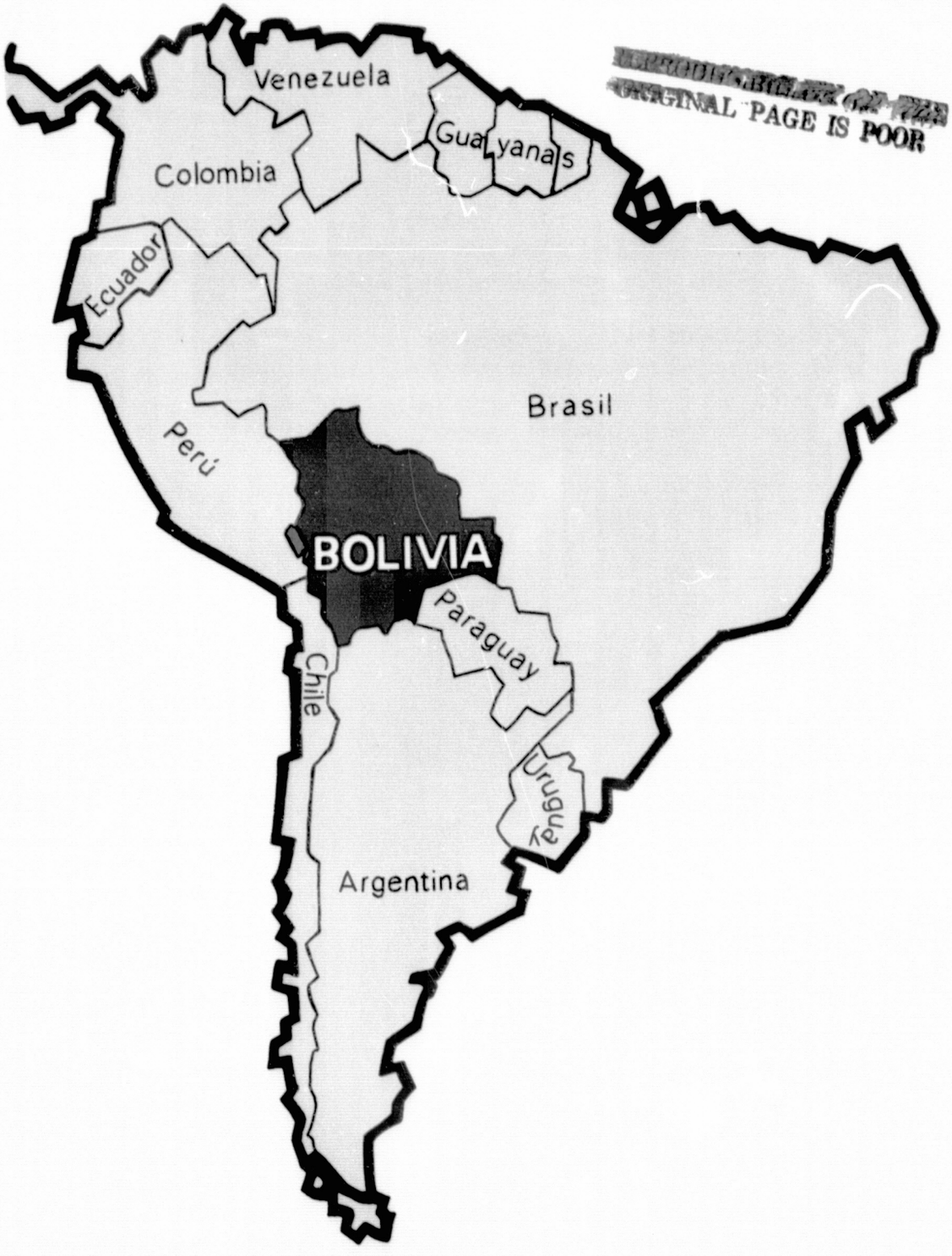
This report discusses the results of a cooperative research project conducted by the Bolivian ERTS Program and the Laboratory for Applications of Remote Sensing (LARS), Purdue University, under sponsorship of the International Development Reseach Center of Canada.

The purpose of this project was to assess the applicability of computer-aided analysis techniques (CAAT) to map major ground cover types (with emphasis on geological, soils and Land use mapping) in a region of the Bolivian Altiplano, using LANDSAT MSS digital data.

In addition, this project involved training of a team of Bolivian scientists to utilize the LARSYS Version 3 processing software system for analyzing LANDSAT MSS data.

Bolivia esta situada en el centro de la América del Sur. Su territorio, cuya superficie es de 1.098.581 kilómetros cuadrados, cuenta con una población de 5.101.699 habitantes, con una densidad demográfica de 4,6 habitantes por kilómetro cuadrado.

Bolivia is situated in the center of South America. Area of 1.098.581 Km^2 and 5.101.699 inhabitants, with demographic density of 4,6 inhabitants per Km^2.



ORIGINAL PAGE IS POOR

, cuya superficie
ón de 5.101.699
metro cuadrado.

3.581 Km^2 and
per Km^2.

INTRODUCCION

El lanzamiento exitoso del primer Satélite de Recursos de la Tierra (LANDSAT-1, antes ERTS) en Julio de 1972, originó que en Bolivia se organizara un Programa Multidisciplinario y Multi-institucional con el objeto de extraer datos de los recursos naturales del país.

El Programa LANDSAT-Bolivia, aplicando técnicas y métodos de fotointerpretación visual, ha mapeado extensas áreas geográficas del territorio boliviano, sin embargo reconoció la necesidad de incursionar en la realización de estudios de investigación relativas a la extracción de información con ayuda de computadoras, para cuyo objeto, aplicó el sistema LARSYS, desarrollado por el Laboratorio para Aplicaciones de Percepción Remota (LARS) de la Universidad de Purdue, Lafayette, Indiana, U.S.A.

El Laboratorio para Aplicaciones de Percepción Remota (LARS), ha desarrollado técnicas de análisis y procesamientos con computadoras para clasificar, analizar e interpretar datos digitales multiespectrales, obtenidos por barredores optimecánicos desde aviones y plataformas espaciales.

Se considera que con la aplicación de esta nueva tecnología, en un lapso de tiempo relativamente corto, será posible obtener el conocimiento de los recursos naturales del país a nivel macro-general, sin embargo el desarrollo acelerado que Bolivia está experimentando durante los últimos años, hace que esta información sea elaborada en algunos sectores en detalle, para que ayude a planificar en forma racional el manejo de los recursos naturales. Por los motivos antes indicados, el Programa LANDSAT-Bolivia está participando en forma activa en los Programas de los Satélites de la serie LANDSAT.

INTRODUCTION

The collection of basic information on the existing natural resources of the country is a necessary and urgent goal of the Bolivian government. Because of current and projected growth rates, there is an ever increasing need for detailed information on the natural resources. This information is needed in order to plan for resource utilization and management at a national level. Recognizing the need of obtaining an adequate map base for the various resources throughout the entire country, in as rapid and comprehensive means as possible, the Bolivian government has become a very active participant of the LANDSAT (ERTS) and SKYLAB Earth Resource Satellite Programs.

Since the successful launch of the first Earth Resources Technology Satellite (LANDSAT-1) in 1972, the Bolivian LANDSAT program has been involved in the interpretation and utilization of satellite multiespectral imagery for mapping Bolivia's natural resources. The extraction of useful information from the satellite gathered data has been mainly based on conventional photo-interpretation and image enhancement techniques.

Although the Bolivian LANDSAT program has been able to apply successfully the conventional methods of photo-interpretation to map large geographic areas of the Bolivian territory, it has been recognized that the enormous amount of information contained in the different spectral bands of the LANDSAT MSS system could be more effectively reduced and classified utilizing existing computer-aided analysis techniques, such as LARSYS. Therefore, this cooperative research effort was established between the Bolivian LANDSAT program and the Laboratory for Application of Remote Sensing (LARS), at Purdue University wets Lafayette, Indiana, U.S.A.

The Laboratory for Aplications of Remote Sensing has played a pioneering role in the development of computer processing and analysis techniques for classifying, analyzing, and interpreting multiespectral digital data obtained by optical-mechanical scanners from aircraft and spacecraft platforms.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

Los objetivos de este proyecto son: 1) Ejecutar y evaluar técnicas de análisis con ayuda de computadoras (CAAT), usando datos del barredor multiespectral MSS de LANDSAT-1 en un área de Bolivia (imagen del río Desaguadero) para mapeo Geológico, Suelos y Uso Actual de la Tierra. 2) Entrenar profesionales bolivianos (un geomatemático, un geólogo, un agrónomo), en la aplicación de análisis con ayuda de computadoras de los datos del barredor multiespectral de LANDSAT-1, de modo que Bolivia pueda eventualmente implementar dichas técnicas de análisis utilizando sistemas de computación disponibles en Bolivia.

PROJECT OBJECTIVES

The major objetive of this project was twofold; first, to perform and evaluate computer-aided analysis techniques (CAAT) using LANDSAT-1 multispectral scanner data of the Rio Desaguadero area of Bolivia for Geological, Soils and Land Use mapping, and second to train three Bolivian scientists (an agronomist, a geologist, and a geomathematician) in the application of computer-aided analysis of LANDSAT-1 multiespectral scanner data, so that Bolivia can eventually implement such utilizing computer systems available in Bolivia.

DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

Generalidades

La figura 1, es un fotomosaico de LANDSAT mostrando la localización del área de la imágen Desaguadero con relación al territorio de Bolivia.

El área cubierta por los datos de LANDSAT-1 MSS del Desaguadero, cubre aproximadamente 34.000 Km2, fué tomada en Agosto 2, 1972 (escena, ID: 1010-14033, localizada dentro de las siguientes coordenadas geográficas: (figura 3).

Sud	16° 40' 26"	Sud	16° 55' 29"
Oeste	68° 53' 37"	Oeste	67° 13' 31"
Sud	18° 11' 29"	Sud	18° 26' 44"
Oeste	69° 19' 53"	Oeste	67° 38' 58"

El sitio de prueba comprende la parte Sud del departamento de La Paz incluyendo las provincias de Ingavi, Aroma, Pacajes, Villarroel, Loayza, Los Andes, Murillo, Sud Yungas e Inquisivi. También cubre la parte Norte del departamento de Oruro que incluye las provincias de Sajama, Carangas, Cercado y Saucaré (Figura 2). Las poblaciones más importantes que fueron usadas como puntos de referencia son: Jesús de Machaca, Corocoro, Patacamaya, Luribay en la parte Norte del área de prueba; Chacarilla, Huayllamarca y Eucaliptus en la parte central, Curahuara de Carangas, Turco y Corque en la parte Sud. (Figura 2).

El sitio de prueba del Desaguadero incluye tres provincias fisiográficas mayores: (1) el Complejo Montañoso, (2) El Altiplano y (3) El Complejo Volcánico.

La ubicación y extensión de estas provincias fisiográficas se muestran en la figura 3.

Complejo Montañoso (Bloque Paleozoico).

Esta provincia fisiográfica está caracterizada por un fuerte plegamiento y fracturación de rocas paleozoicas. Su altura y forma presentes resultan de una actividad intrusiva, tectónica e ígnea asociada con el desarrollo de la Cordillera.

TEST SITE DESCRIPTION

General

Figure 1 is a LANDSAT photomosaic showing the location of the Desaguadero test site with relation to the Bolivian territory. The area covered by the Desaguadero LANDSAT-1 MSS covers aproximately 34.000 Km^2, data collected on August 2, 1972, (scene ID: 1010-14033) is located within the following geographic coordinates: (figure No. 3).

S	16°	40' 26"	S	16°	55' 29"
W	68°	53' 37"	W	67°	13' 31"
S	18°	11" 29"	S	18°	26' 44"
W	69°	19' 53"	W	67°	38' 58"

The test site comprises the southern part of the La Paz Department including the Ingavi, Aroma, Pacajes, Villarroel, Loayza, Los Andes, Murillo, Sud Yungas, and Inquisivi provinces. It also covers the northern part of the Oruro Department including the Sajama, Carangas, Cercado, and Saucaré provinces (see Figure 2). The most important towns which were used as points of reference are: Jesús de Machaca, Corocoro, Patacamaya, and Luribay in the northern part of the test site; Chacarilla, Huayllamarca, and Eucaliptus in the central part of the test site; and Curahuara de Carangas, Turco, and Corque in the southern part. (See Figure 2).

The Desaguadero test site includes three major physiographic provinces: (1) the Mountainous Complex, (2) the Altiplano, and (3) the Volcanic Complex. The location and extent of these physiographic provinces is shown in Figure 3.

Mountainous Complex (Paleozoic Block)

This physiographic province is characterized by strongly folded and fractured Paleozoic rocks. Its height and present form resulted from tectonic and igneous intrusive activity associated with the development of the Cordillera.

REPRODUCIBILITY OF THE
ORIGINAL PAGE IS POOR

REPRODUCIBILITY OF THE
ORIGINAL PAGE

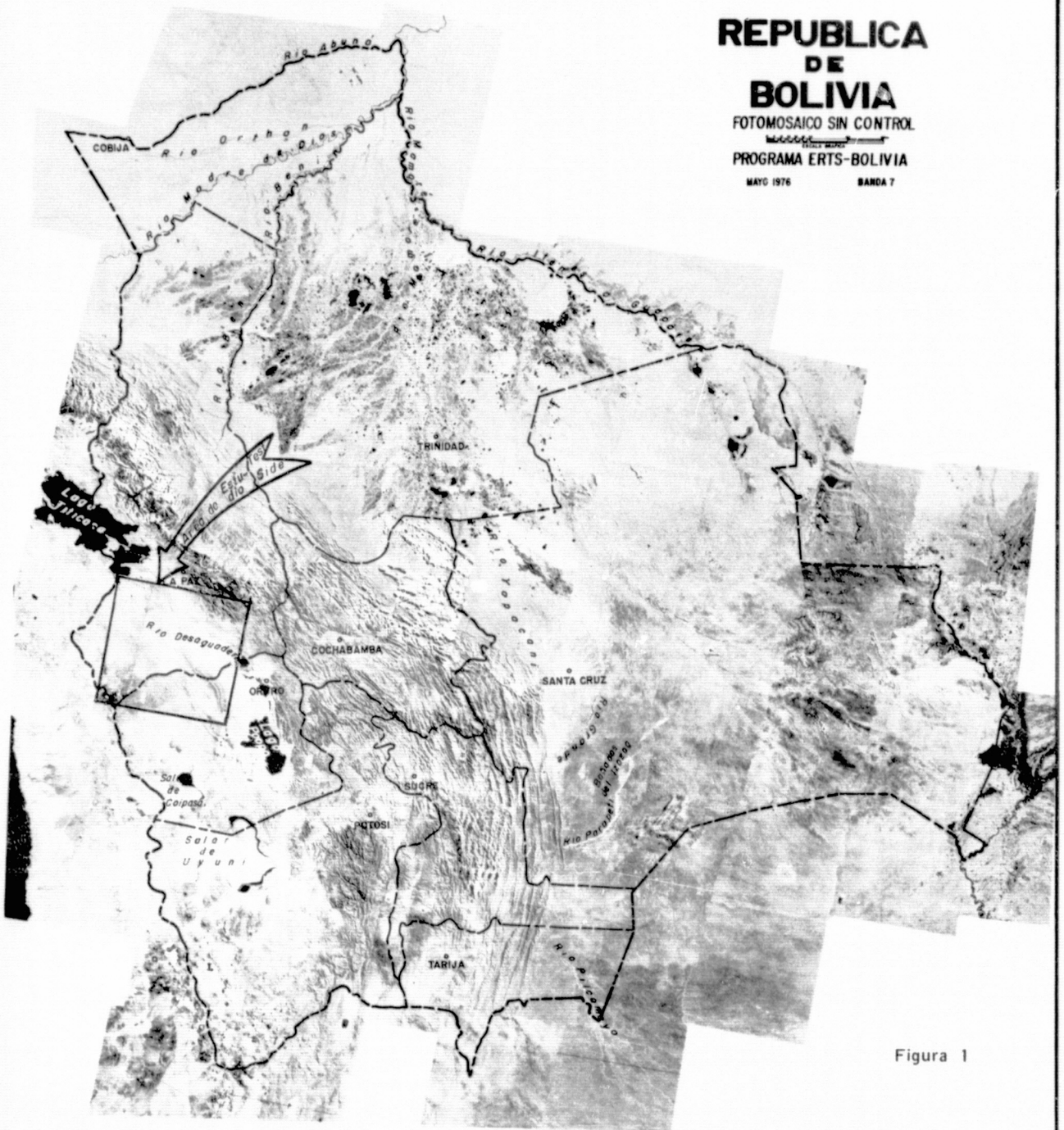


Figura 1

Fotomosaico de imágenes LANDSAT cubriendo el territorio boliviano, localización del área de estudio.
LANDSAT photomosaic covering the Bolivian territory. Localization of test site.

Fig

Ubicación de las tres
fisiográficas mayores
en el área de la image
dero.

Location of three phy
provinces present in
guadero River test site

REPRODUCIBILITY OF THE
ORIGINAL PAGE IS POOR

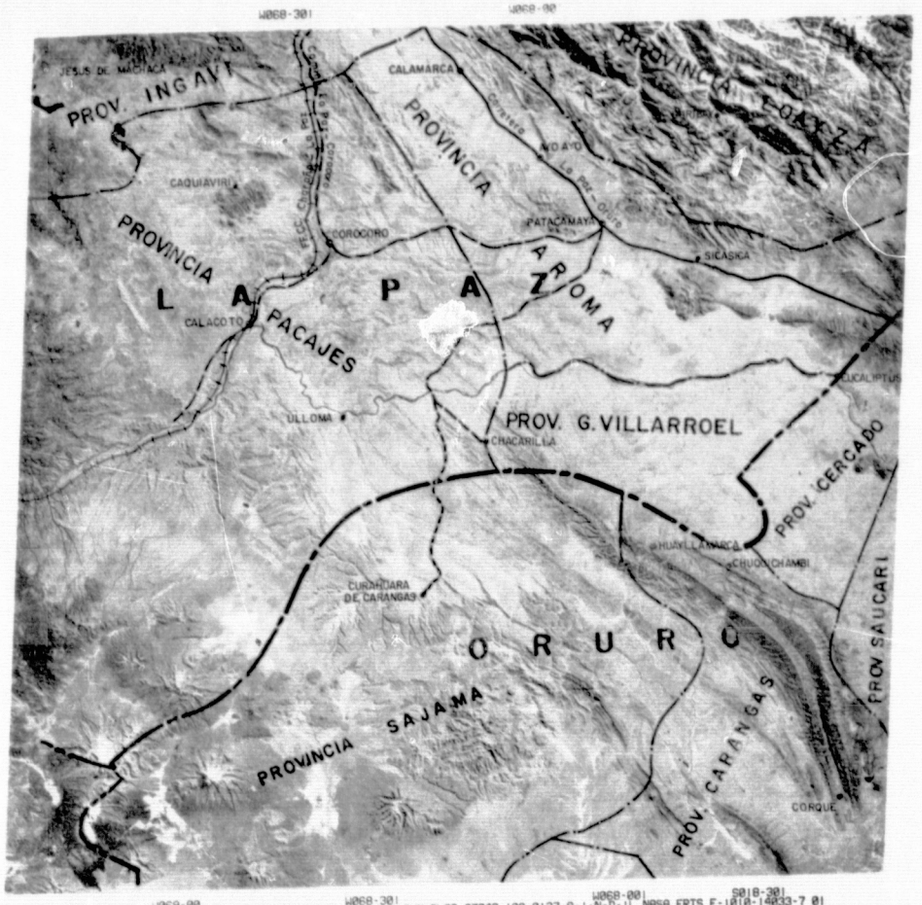


Figura 2

Imagen LANDSAT del río Desaguadero, mostrando los Departamentos de La Paz, Oruro, límites provinciales y poblaciones importantes.

LANDSAT frame of the Desaguadero River the Department La Paz, Oruro and province boundaries, and most important towns in the area.

Figura 1

Figura 3

Ubicación de las tres provincias fisiográficas mayores presentes en el área de la imagen Desaguadero.

Location of three physiographic provinces present in the Desaguadero River test site.

La formación del paisaje presente, fué influenciada grandemente por la glaciación. Campos de nieve perenne todavía cubren grandes áreas, tales como el Nevado de Tres Cruces (ver figura 3). Las divisorias de cuencas que siguen las grandes cimas del área, distribuyen el drenaje entre las grandes corrientes de la sub-cuenca del Río Beni y los tributarios del Lago Titicaca.

Altiplano.

La provincia fisiográfica del Altiplano comprendida en la dirección NW-E, abarca la parte central de la imágen del Desaguadero. El Altiplano boliviano es un desierto típico de latitud media, cuyo orígen está relacionado con su localización en el interior de una región entre dos grandes masas continentales de la Cordillera Central en el Este y el Complejo Volcánico en el Oeste (Figura 3).

La unidad altiplánica boliviana, está compuesta de materiales de erosión terrígenos de las altas partes de las masas continentales adyacentes y transportadas por corrientes intermitentes, formando extensos abanicos y planicies aluviales.

Los movimientos orogénicos en esta provincia, son evidentes por la presencia de cadenas montañosas tales como las de Corocoro y Huayllamarca, las cuales tienen una altura promedio de 4.000 m.s.n.m.

Complejo Volcánico (Cordillera Occidental).

Este Complejo, se encuentra en el extremo Sudoeste de la imágen LANDSAT del Desaguadero (Figura 3). Se extiende desde la vecindad de la localidad de Calacoto hasta el límite Sud de la imágen. En este complejo, se presenta una serie de rasgos de erupción magmática; la más importante es la meseta ignimbrítica que está localizada entre la parte al Norte del río Mauri y la cadena montañosa de Curahuara de Carangas.

La característica más espectacular de esta provincia fisiográfica, es la presencia de cierto número de conos volcánicos orientados NW-SE, tales como el Nevado del Sajama, elevación más alta del país (con una altura de 6.542 m.s.n.m.) y los nevados Anallajsi y Payachatas, estos picos estan cubiertos por campos perennes de nieve.

Clima.

El clima de la región presenta variaciones relacionadas a las diferentes provincias fisiográficas. Las temperaturas medias anuales varías desde 7°C en las alturas (comparable a los climas de alta latitud) a 17°C en los valles profundos de la Cordillera Oriental, tales como Luribay y Caracato.

The formation of the present landscape was greatly influenced by glaciation. Perennial snow fields still cover large areas, such as the Nevado de Tres Cruces (See Figure 3).

The Basin divides, which follow the great summits of the area, distribute the drainage runoff between the large streams of the Beni River sub-basin and the tributaries of Titicaca Lake.

Altiplano.

The Altiplano physiographic province trending in a NW-SE direction comprises most of the central part of the Desaguadero image. The Bolivian Altiplano is a typical medium latitude desert whose origin is related to its location in the interior region between the two large continental masses of the Central Cordillera on the East and a Volcanic Complex on the West (Figure 3).

The Bolivian Altipanic unit is composed of terrigenous materials eroded from the high parts of the adjacent continental masses and transported by intermittent streams, thus resulting in the deposition of extensive alluvial fans and plains.

Orogenic movements in this province are also evident by the presence of the Corocoro and Huayllamarca mountain ranges which have an average elevation of 4,000 meters above mean sea level.

Volcanic Complex (Western Cordillera)

This complex is found in the SW corner of the Desaguadero LANDSAT image (Figure 3). It extends from the vicinities of the Calacoto village down to the southern limits of the image. Within this complex, series of magnatic eruption features are present; the most important one is the ignimbritic plateau which is located between the Mauri River and the Curahuara de Carangas mountain range.

The most spectacular characteristic of this physiographic province is the presence os a number of NW-SE trending volcanic cones such as the Nevado Sajama which is the highest peak in the Country (with an elevation of 6,542 meters above mean sea level), and the Nevados Anallajsi and Payachatas. These peaks are covered by perennial snow fields.

Climate.

The climate of the region present variations related to the different physiographic provinces. Mean annual temperatures range from 7° C in the altitudes (compa-

La región del altiplano está caracterizada por temperaturas intermedias (temperatura media anual de 10ºC). La precipitación media anual en el área del sitio de prueba del Desaguadero es de aproximadamente 341 mm.

Accesibilidad

La red de transporte del área de interés es bastante densa con caminos de segundo y tercer órden. También existen caminos de primer órden tales como la ruta La Paz-Oruro y La Paz-Corocoro. Además, en la parte del área de prueba esta el ferrocarril internacional La Paz-Arica (Bolivia-Chile).

Flora

La cubierta vegetativa característica en el área de prueba del Desaguadero está compuesta de las siguientes especies:

Paja Brava	(Festuca ortophylla)
Thola	(Lepidophyllum quadrangulare)
Yareta	(Asorella glabra)
Keñua	(Polylepis incana)

Fauna

Las especies predominantes de vida silvestre en el área de prueba del Desaguadero estan representadas por:

Llama	(Lama glama)
Alpaca	(Lama pacos)
Oveja	(Ovis aries)
Viscacha	(Legirum andinum)
Perdíz	(Perdix rubra)
Pato Silvestre	(Strepo peliarisoria)
Ganzo silvestre (Huallata)	(Vérnida melanóptera)
Vicuña	(Vicugna vicugna)

rable to high latitude climates) to 10°C in the deep valleys of the Cordillera Oriental, such as the Luribay and Caracato Valleys. The Altiplano region is characterized by intermediate temperatures (mean annual Temperature of 10°C). The mean annual precipitation in the area of the Desaguadero test site is approximately 314 mm.

Accessibility

The transport network of the area of interest is quite dense in 2nd and 3rd order unimproved roads. It also contains two 1st order improved roads such as the La Paz-Oruro highway and the La Paz-Corocoro highway. In addition, in the northwestern part of the test site there is an international railroad La Paz-Arica (Bolivia-Chile).

Flora.

The characteristic vegetative cover in the Desaguadero test site is composed of the following species:

Paja Brava	(Festuca ortophylla)
Thola	(Lepidophyllum quadrangulare)
Yareta	(Asorella glabra)
Keñua	(Polylepis incana)

Fauna.

The typical and predominant type of wildlife in the Desaguadero test site is composed of the following species:

Llama	(Lama glama)
Alpaca	(Lama pacos)
Oveja	(Ovis aries)
Viscacha	(Legirum andinum)
Perdíz	(Perdix rubra)
Pato Silvestre	(Strepo peliarisoria)
Ganzo silvestre (Huallata)	(Vérnida melanóptera)
Vicuña	(Vicugna vicugna)

DATOS UTILIZADOS

La información utilizada en este estudio fue la imagen de datos digitales de LANDSAT-1 MSS obtenidos el 2 de Agosto de 1972 (imágen 1010-14033). La figura 4 muestra las imágenes de LANDSAT-1 MSS en cuatro bandas de longitud de onda. Estos datos fueron almacenados en un formato de cinta (CCT) compatible para computadora (LARS-Run 72069300, cinta: 1245; File: 01).

Originalmente se planeó utilizar una imágen de datos de LANDSAT-2 recogidos sobre la misma área cubierta por la imágen de LANDSAT-1, sin embargo, debido a retrasos en la entrega del producto de parte del centro de datos EROS esta segunda imagen (escena ID: 2150-13523) fué solamente reformada dentro de un formato compatible de LARSYS y fué almacenada en una cinta de datos LARS (Run: 75011100, cinta 2912, File: 01).

Además de los datos digitales de LANDSAT-1 MSS, fué recolectada información de campo del área del Desaguadero.

Los datos de referencia, originalmente incluyeron fotografías aéreas multiespectrales (cuatro bandas espectrales aproximadamente correspondientes a las cuatro bandas de LANDSAT MSS) en escala 1:25.000.

Las fotografías aéreas multiespectrales fueron tomadas a lo largo de cinco líneas de vuelo pre-establecidas como se muestra en la figura 5. Un ejemplo de las fotografías aéreas multiespectrales tomadas sobre la laguna Parcocota se muestra en la figura 6.

Debido a la falta de contraste y el área reducida de cobertura (5.29 Km2); la fotografía aérea multiespectral no fué particularmente útil para definir los campos de prueba para una clasificación supervisada; aún más, esta misión fotográfica fué realizada en Octubre de 1975 o sea tres años después de que los datos de LANDSAT-1 y en una estación del año diferente.

Durante Septiembre de 1975, se efectuaron trabajos para recolección de datos en el campo por geólogos, agrónomos y geógrafos del Programa LANDSAT-Bolivia. Los datos obtenidos fueron: muestras de suelo, rocas y medidas radiométricas.

Mapas geológicos y de suelos del área de prueba fueron utilizados como datos de referencia.

El trabajo de campo y la información suplementaria proveyeron al equipo de profesionales el conocimiento profundo del área del Desaguadero, permitiéndoles un análisis más efectivo de los datos de referencia disponible.

UTILIZED DATA

The main set of data utilized in this study consisted of a frame of LANDSAT-1 MSS digital data collected on August 2, 1972 (Scene ID: 1010-14033). Figure 4 shows the LANDSAT-1 MSS imagery in four wavelength bands. These data are storec in a computer compatible tape (CCT) format (LARS Run: 72069300, Tape: 1245, file: 01).

Originally, it had been planned to use a frame of LANDSAT-2 data gathered over the same area covered by the LANDSAT-1 image. However, due to delays in product delivery from EROS Data Center this second frame (Scene ID: 2150-13523) was only reformatted into a LARSYS compatible format and was stored in a LARS Data Storage Tape (Run: 75011100, Tape: 2912, File 01).

In Addition to the LANDSAT-1 MSS digital data, a set of reference (ground truth) data was also collected from the Desaguadero Area. The reference data primarilly involved multispectral aerial photography (Four spectral bands approximately corresponding to the four LANDSAT MSS bands) to 1:25.000 scale.

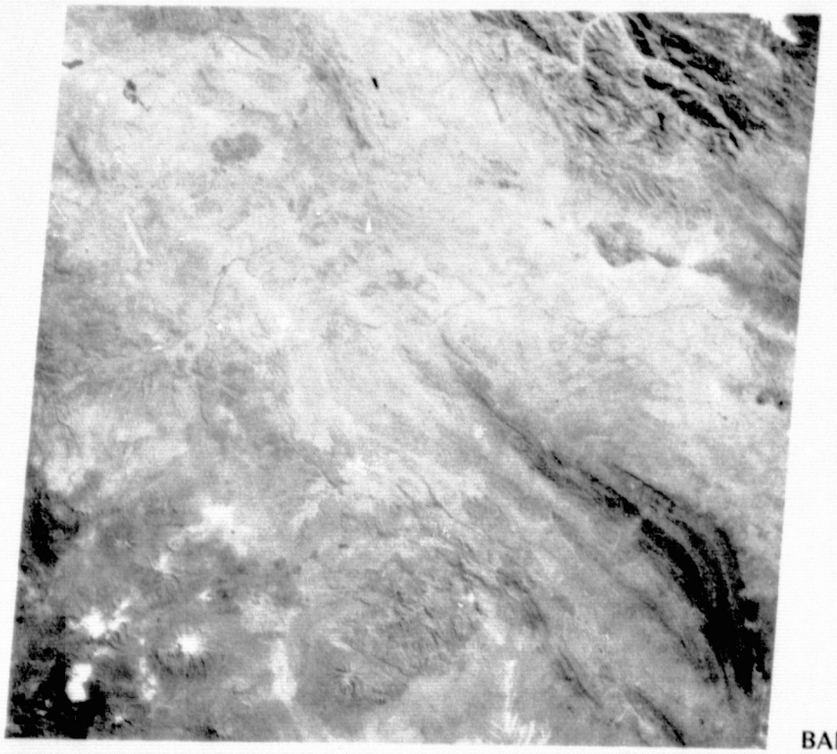
These multispectral aerial photographs were taken along five preestablished flight lines as shown in Figure 5. An example of the multispectral aerial photographs taken over the Parkhokhota Lake is shown in Figure 6.

Because of lack of contrast and reduced area of coverage (approximately 5.29 km^2) the aerial multiespectral photography was not particularly helpful in defining training fields for a supervised classification. Furthermore, this photographic mission was flown in October 1975, i.e., more than three years after the LANDSAT-1 data were gathered, and also at a different season of the year.

During September 1975, a series of data gathering field trips were conducted by geologist, agronomists, geographers from the Bolivia LANDSAT program to abtain reference data, such as rock types, soil samples, and radiometric measurements

Geological and soil maps of the test site area were also utilized as reference data.

The field work along with the other data available, provided the scientists with a deep knowledge of the Desaguadero area, thereby enabling them to more effectively analyze the LANDSAT data. It is important to note that of all the available reference data, the most useful information was obtained from the knowledge gained by the scientists during their visits to the area.

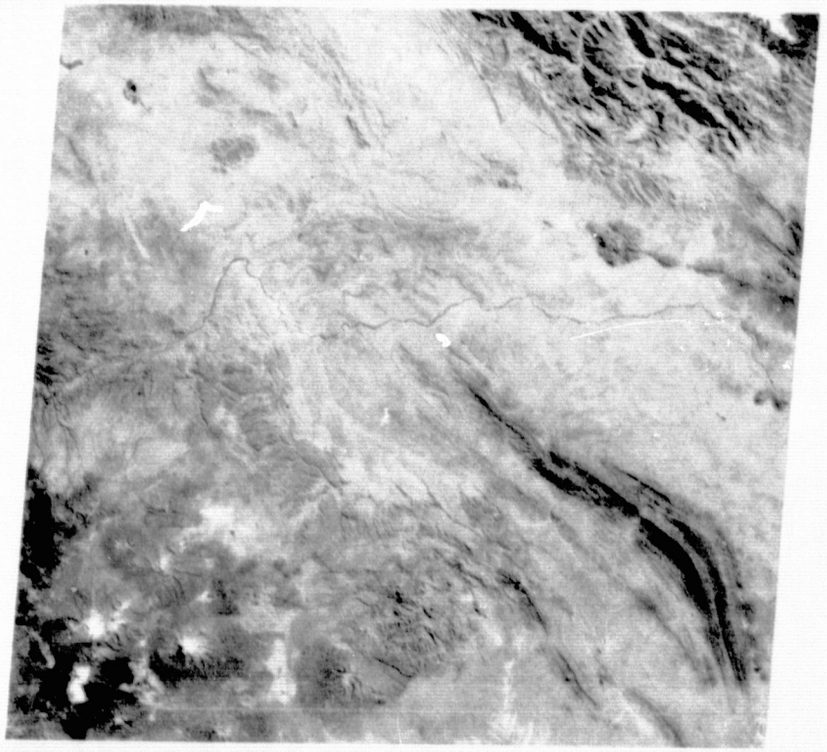


BANDA - 4

Figura 4

Imágenes en blanco y negro de las cuatro bandas de LANDSAT del área del Desaguadero.

Black and white imagery in the four LANDSAT bands of the Desaguadero area.



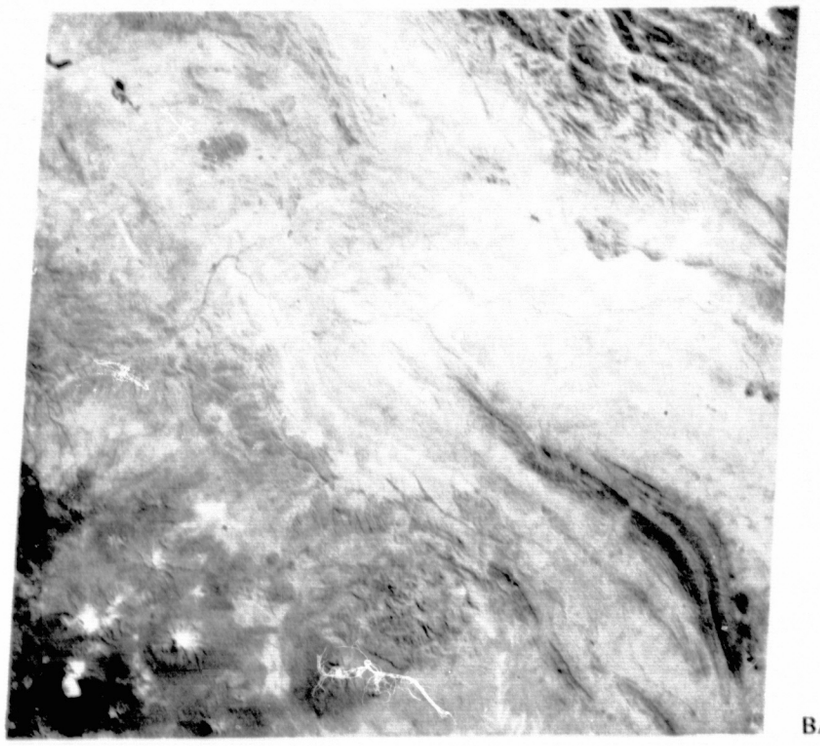
BANDA - 6

REPRODUCIBILITY O
ORIGINAL PAGE IS

Figura 4

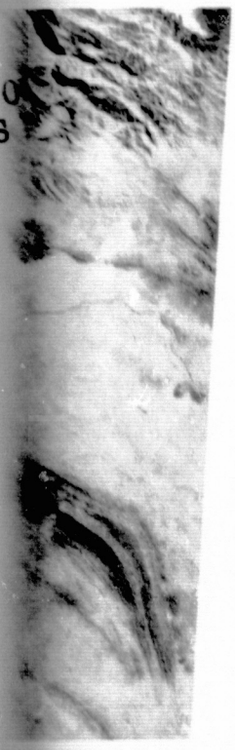
a blanco y negro de las
das de LANDSAT del
aguadero.

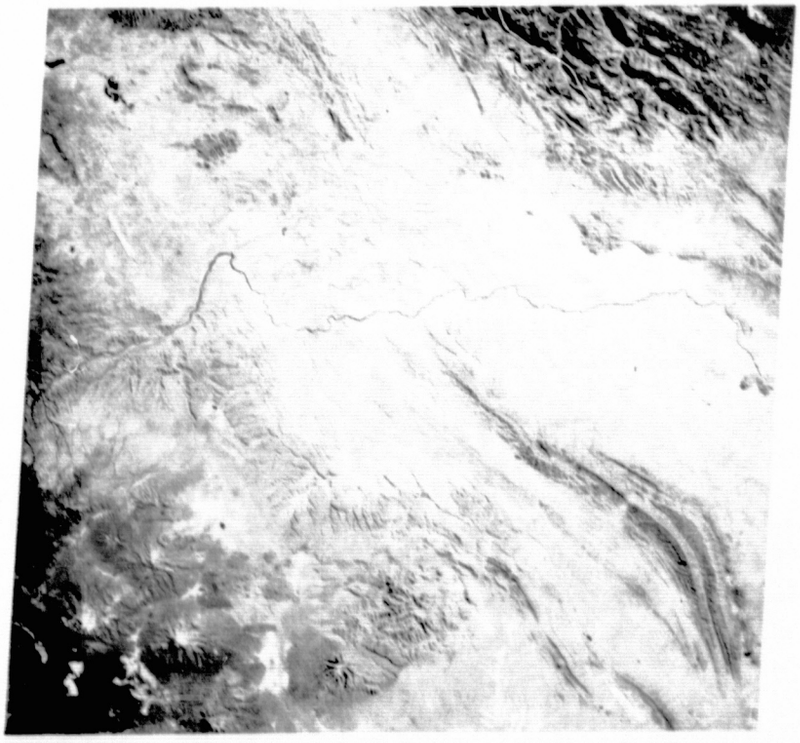
-hite imagery in the four
bands of the Desaguade-



BANDA - 5

REPRODUCIBILITY OF THE
ORIGINAL PAGE IS POOR





BANDA - 7

REPRODUCIBILITY OF THE
ORIGINAL PAGE IS

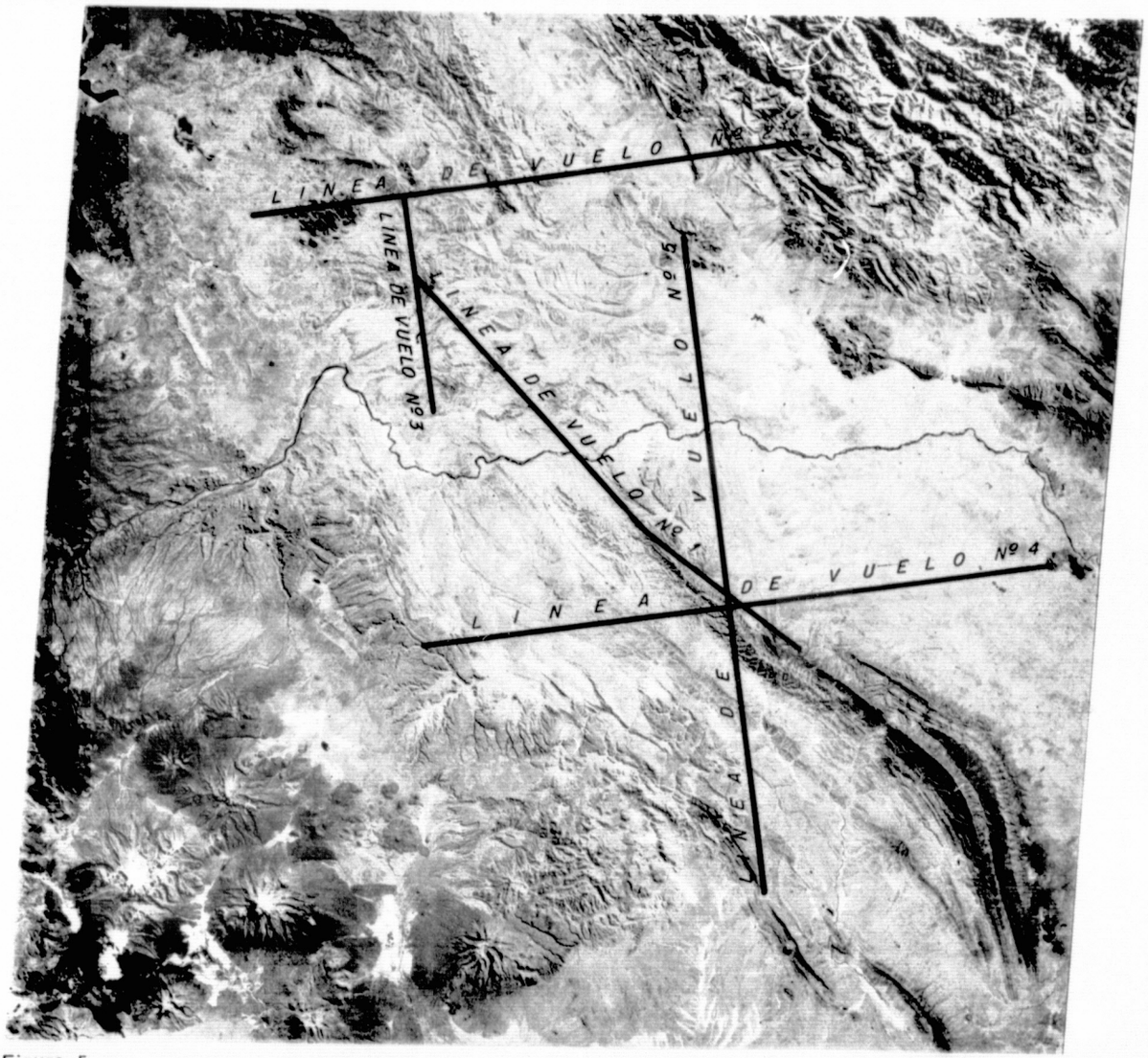


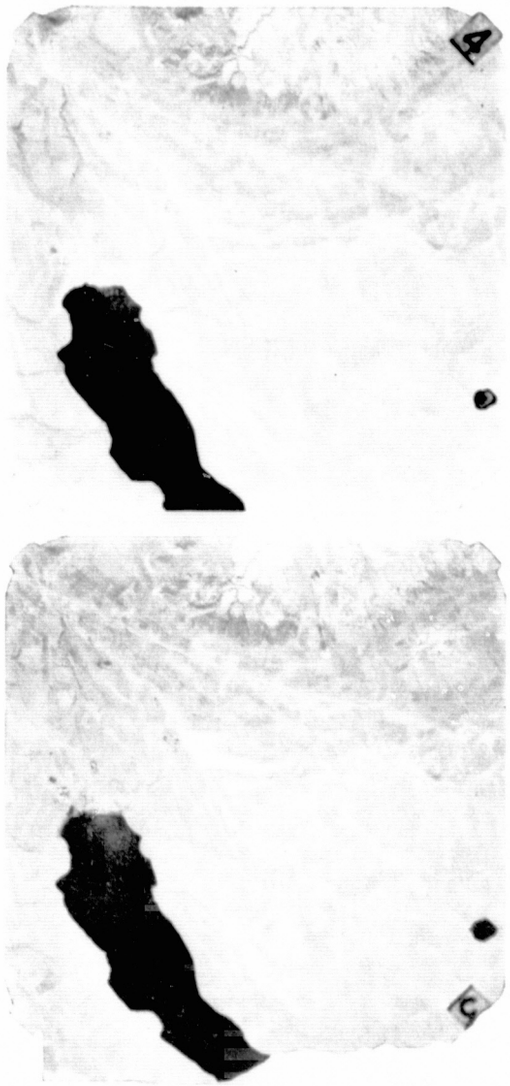
Figura 5

Ubicación de misiones aéreas fotográficas multi-espectrales (líneas de vuelo).

Location of the multiespectral photographic aerial missions (flight lines).

Figura 6

Ejemplos d
trales del ár



tiespectral photographic aerial
s d
ár

Figura 6

Ejemplos de cuatro fotografías aéreas multiespectrales del área Laguna Parkhokhota.

Example of four multiespectral aerial photographs in Parkhokhota Lake area.

ANALISIS DE DATOS

Pre-procesamiento de datos.

El sistema del barredor multiespectral de LANDSAT, tiene un campo de visión instantáneo (IFOV) de aproximadamente 79 mts., cada línea de barrido es muestreada a una proporción tal que cada muestra contígua está espaciada aproximadamente en 56 mt. También, el movimiento hacia adelante es tal que su rendimiento contínuo cubre el terreno en franjas que tienen aproximadamente 79 mts.

El juego de datos digitales de LANDSAT resultante, contiene nominalmente 3232 muestras horizontales (Este-Oeste) y 2340 muestras verticales (Norte-Sud).

Los datos de LANDSAT MSS en formato de cinta compatible con computadora (CCT), están calibrados en una longitud de línea ajustados por la NASA, pero no se les ha aplicado ninguna corrección geométrica (NASA 1972). Por lo tanto, estos datos contienen cierto número de distorsiones geométricas. Para la corrección de éstas, científicos de LARS han desarrollado dos funciones de procesamiento mayores de corrección:

1) La función "Open Loop", sin alimentación de vuelta de puntos de control de campo, está referida simplemente como "Correción Geométrica Standard de LARS".

2) Es una función de correción geométrica más precisa que usa puntos de control de chequeo en el campo y un mapa base digitalizado; se conoce generalmente como "Registro de Precisión".

Debido a que no había un mapa base digitalizado disponible del área de prueba, los datos digitales de LANDSAT MSS del Desaguadero fueron rectificados usando solamente la Corrección Geométrica Standard de LARS (Figura 7).

La Corrección Geométrica Standard de LARS consiste de cinco funciones de transformación lineal que corrigen:

1) Las diferencias de escala en las direcciones horizontal y vertical para cada resolución espacial de terreno (pixel).

2) Rotación de coordenadas debido a la inclinación no polar del trayecto orbital del satélite.

Data Pre-proce

The LAN
(IFOV) of app
that each con
forward motio
ground in strip

The resulting
lly (E-W) and

The LAN
brated and li
corrections are
number of ge
scientists a LA
first one in an
and it is simpl
one is a more
checkpoints and
tion".

Because
LANDSAT MS
Correction. (S
transformation
and vertical di
tion due to the
the earth's rot
(5) re-scaling
correction algo

The result
another magne

DATA ANALYSIS

Data Pre-processing.

The LANDSAT multispectral scanner system has an instantaneous field of view (IFOV) of approximately 79 meters and every scan line is sampled at a rate such that each contiguous sample is spaced approximately 56 meters apart. Also, the forward motion of the spacecraft is such that it yields continuous coverage of the ground in strips that are aproximately 79 meters apart.

The resulting LANDSAT digital data set contains nominally 3232 samples horizontally (E-W) and 2340 samples vertically (N-S).

The LANDSAT MSS data in computer compatible tape (CCT) format are calibrated and line length adjusted by NASA, but NASA, but no further geometric corrections are applied to these data (NASA, 1972). Thus, these data contain a number of geometric distortions. In order to correct such geometric distortions, scientists a LARS habe developed two major correction processing functions: The first one in an "open loop" function, without feedback from ground control points, and it is simple referred to as "LARS Standard Geometric Correction". The second one is a more precise geometric correction function which uses ground control checkpoints and a digitized base map. It is usually knoun as "Precision Registration".

Because no digitized base map was available for this test site, the Desaguadero LANDSAT MSS digital data were rectified using only the LARS Standard Geometric Correction. (See Figure 7) Standard Geometric Correction consists of five linear transformation functions which correct (1) scale differences in the horizontal and vertical directions of each ground spatial resolution (pixel), (2) coordinate rotation due to the non-polar inclination of the satellite orbital path, (3) skew due to the earth's rotation, (4) differences in aspect ratio of the line printer characters, and (5) re-scaling to a desired scale. A complete description of the actual geometric correction algorithms has been reported by Anuta (1973).

The resulting geometrically corected data (Desaguadero area) was copied onto another magnetic tape (LARS Data Storage Tape: 2609, File: 1, LARS Run Num-

3) La desviación debido a la rotación de la tierra.

4) Diferencias en la relación de orientación de los caracteres de líneas impresas.

5) Un re-escalamiento a una escala deseada.

Los datos resultantes corregidos geométricamente (área del Desaguadero), fueron copiados en una cinta magnética (cinta de almacenamiento de datos LARS: 2609, File: 1, LARS Run No. 72069301). Cuando son mostrados en un formato de salida del impresor de línea Standard, estos datos tienen una escala de 1:25.000 y el impreso de salida resultante esta orientado con el Norte en la parte superior.

Procesamiento de Datos.

Los datos de LANDSAT corregidos geométricamente del área del Desaguadero, fueron primero dispuestos en un formato de impresor de línea de computadora a una escala de 1:25.000. Debido a la enorme cantidad de datos (aproximadamente 7,5 millones de muestras por cada banda de longitud de onda), la imágen entera fué dividida en 15 cuadrángulos que corresponden a la misma área cubierta por los mapas geológicos Standard bolivianos (escala 1:100.000). Los nombres de estos mapas geológicos fueron usados para identificar los diferentes cuadrángulos de datos de LANDSAT; la figura 8 muestra la división de la imágen del Desaguadero en 15 cuadrángulos.

El análisis numérico de los datos digitales de LANDSAT Desaguadero, fué ejecutado usando el sistema de procesamiento con ayuda de computadoras de LARS/Purdue.

Estas técnicas de análisis con ayuda de computadoras, consisten de un juego integrado de programas de computación (Software) conocidos como LARSYS. Sin embargo, LARSYS es algo más que un juego de programas de computación, es un método completo (filosofía y técnicas) para la conversión de datos multidimencionales obtenidos por percepción remota en información útil para ordenar e inventariar los recursos de la tierra.

La figura 9, muestra los procesos de análisis del sistema Software de LARSYS, los cuales son implementados en una computadora IBM 360/67. Una descripción completa de cada uno de los procesadores de LARSYS se encuentra en la documentación de Software de LARSYS (LARSYS 1973).

El procesamiento de datos con ayuda de computadoras, utilizando el sistema Software de LARSYS, es una secuencia de análisis flexible, depende de los objetivos particulares del estudio, las características de los datos de referencia y de satélite

ber: 72069301). When displayed in a standard line printer out format, these data have a scale of 1:25,000 an the resultant printout is oriented with North at the top.

Data Processing.

The geometrically corrected LANDSAT data of the Desaguadero area were first displayed in a computer line printer format at a scale 1:25,000. Because of the huge amount of data (approximately 7.5 million samples per wave length band), the entire frame was divided into fifteen quadrangles that correspond to the same area covered by the standard Bolivian geologic maps (1:100.000 scale). The names of these geological maps were used to identify the different LANDSAT data quadrangles. Figure 8 shows the división of the Desaguadero frame into these fifteen quadrangles.

The numerical analysis of the Desaguadero LANDSAT digital data was accomplished using the LARS/Purdue computer-aided processing system.

These computer-aided techniques consist of an integrated set of computer programs (software) known as LARSYS. However, LARSYS is more than just a set of computer programs. It is an entire approach (philosophy and techniques) to the conversion of remotely sensed multidimensional data into information useful for monitoring and inventoring earth resources.

Figure 9 show the analysis processes of the LARSYS software system which are implemented in an IBM 360/67 computer. A complete description of each one of the LARSYS processors are found in the LARSYS software documentation (LARSYS, 1973)

The computer-aided data processing utilizing the LARSYS software system is a flexible analysis sequence, i.e., it depends on the study, the characteristics of the available satellite and reference (ground truth) data, and the analyst's knowledge of the area. The particular sequence of processing steps followed during the computer-aided analysis of the Desaguadero LANDSAT MSS data is shown in Figure 10.

As illustrated by Figure 10, the first step in analysis sequence is to obtain a gray-scale pictorial line-print out of the spectral band in which surface features are best defined, in this particular study the LANDSAT band 7 (LARS channel 4) data 0.8 - 1.1um of the whole area to be classified were displayed at a scale of 1:35,000 using the LARSYS PICTUREPRINT processor.

REPRODUCIBILITY OF THE
ORIGINAL PAGE IS POOR

REPRODUCIBILITY OF THE

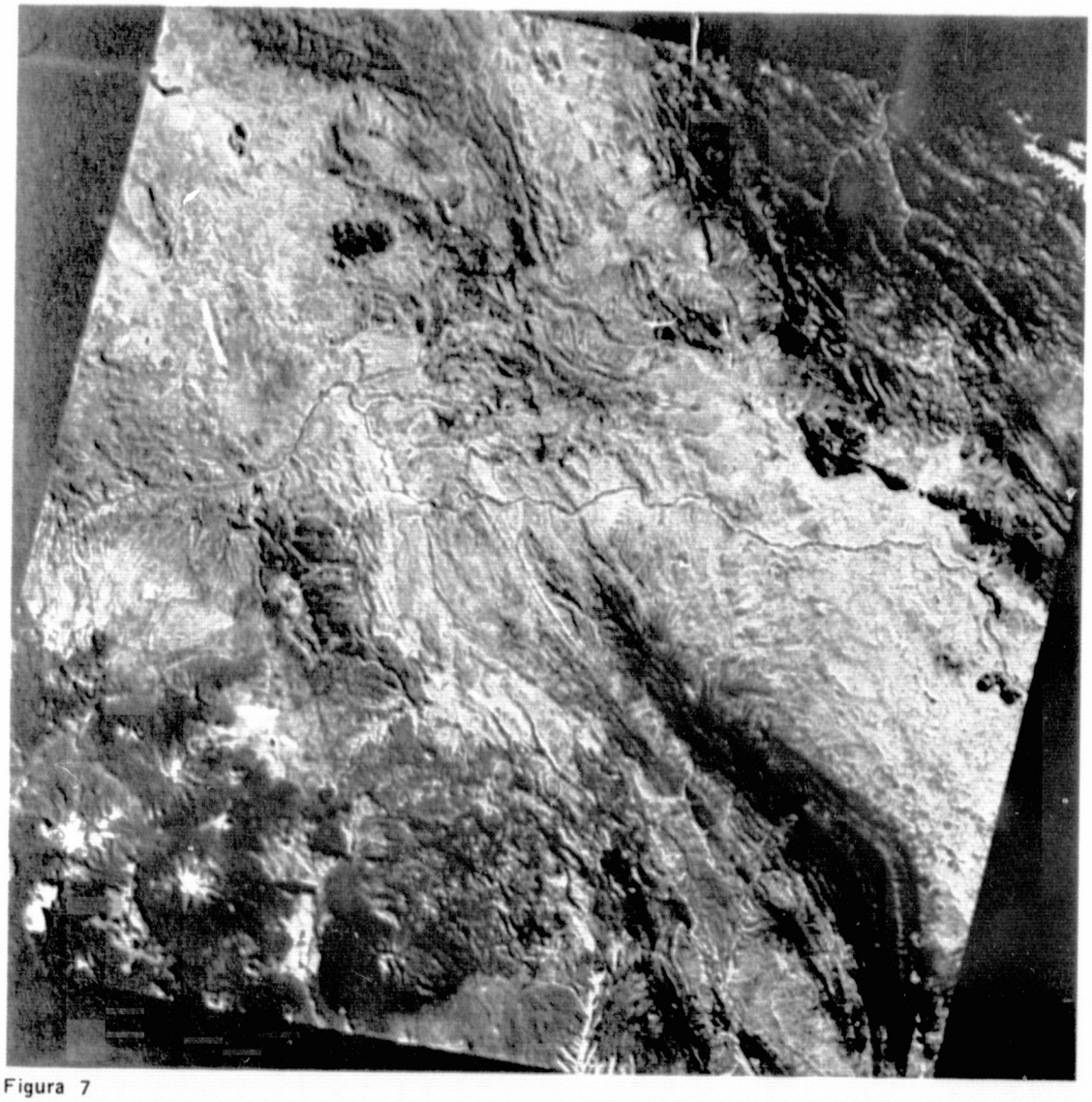


Figura 7

Composición IR color, corregida geométricamente.

Geomatrically corrected color IR composite of the Rio Desaguadero LANDSAT frame.

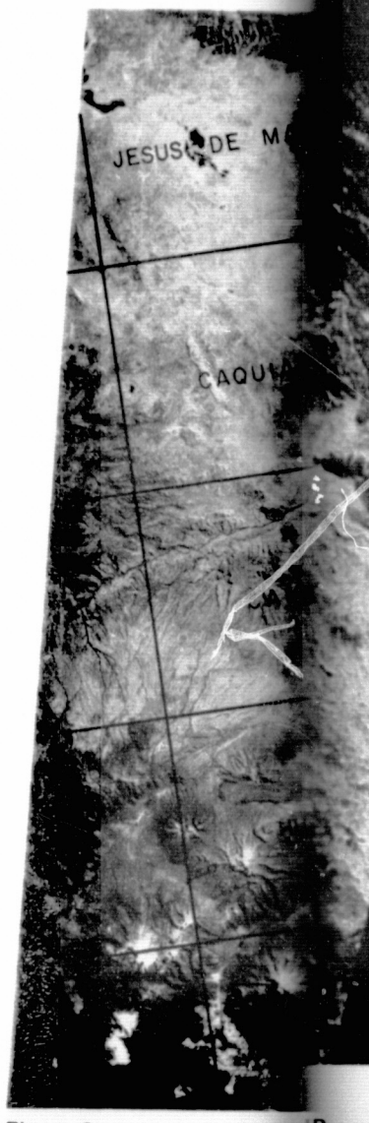


Figura 8

División de la imagen LA
15 cuadrángulos.

R composite of
frame.

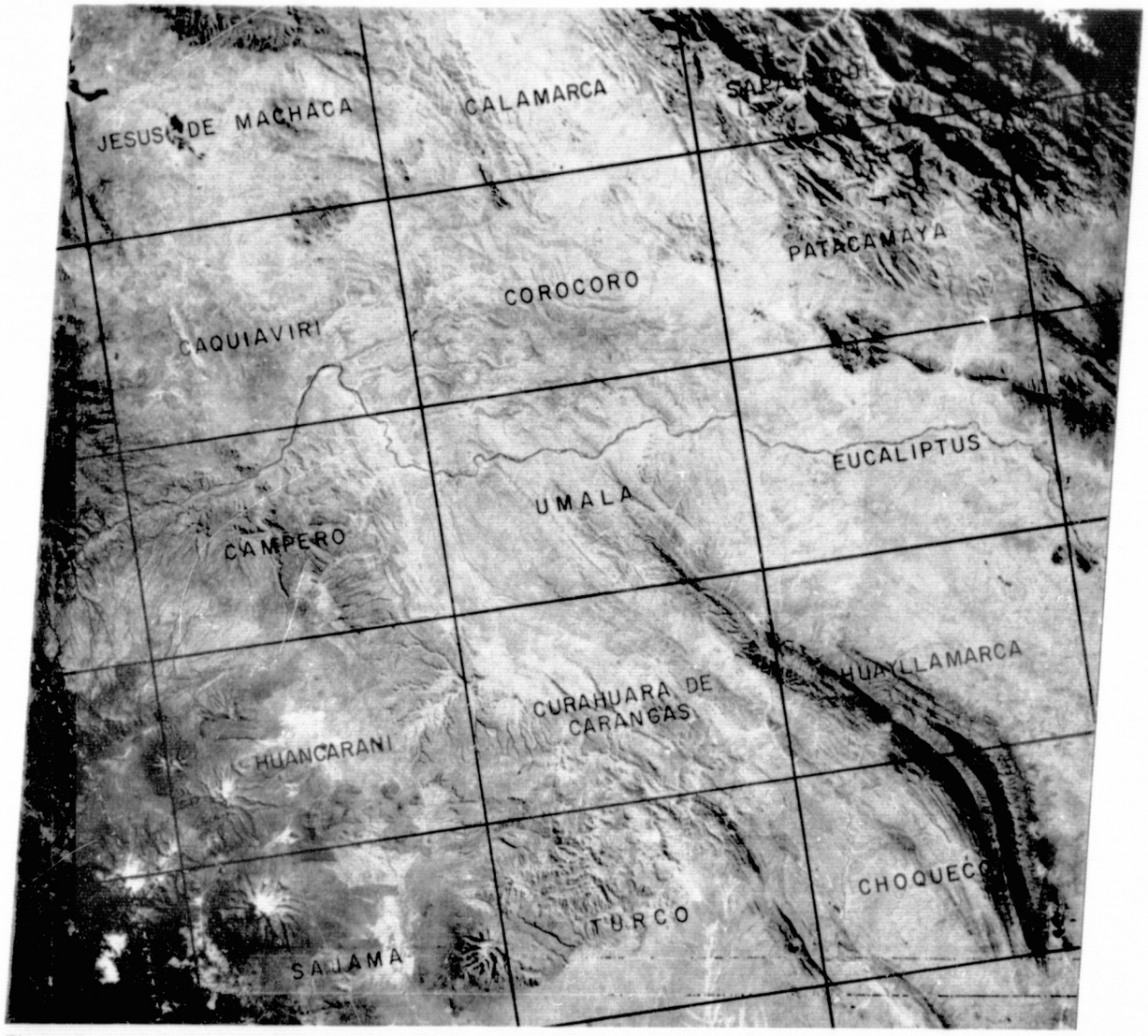


Figura 8

División de la imagen LANDSAT del Desaguadero en 15 cuadrángulos.

Division of the Desaguadero LANDSAT frame into fifteen quadrangles.

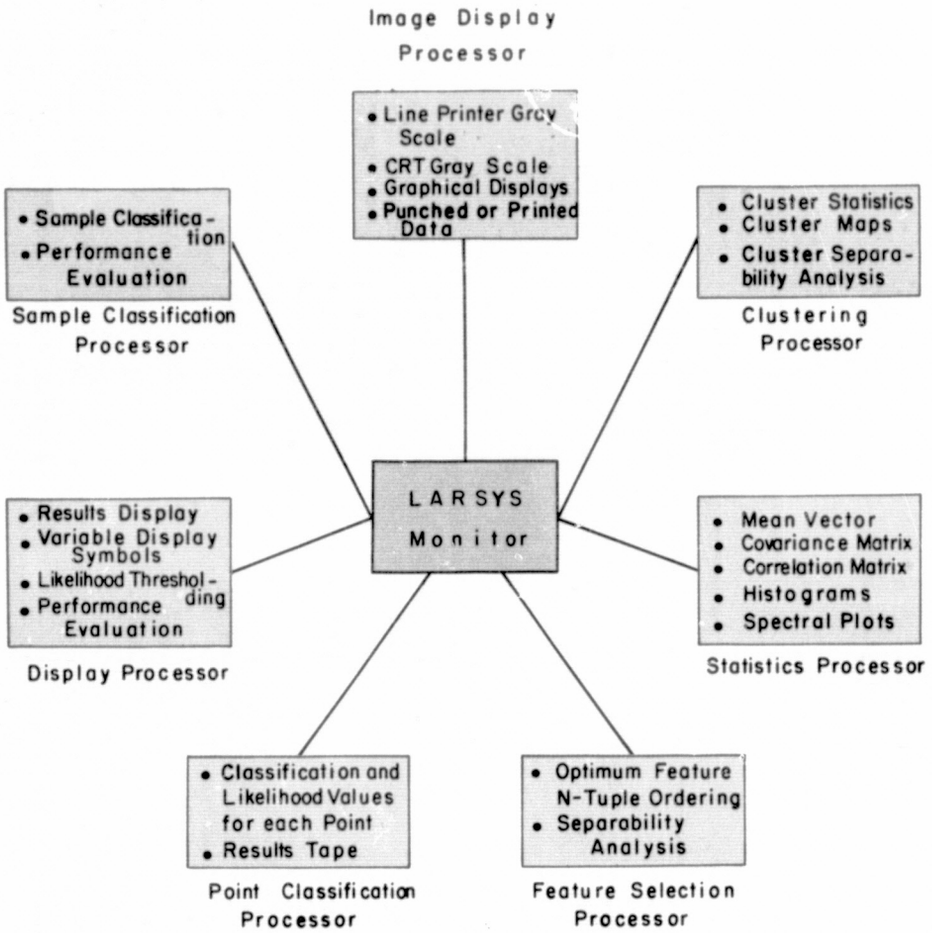
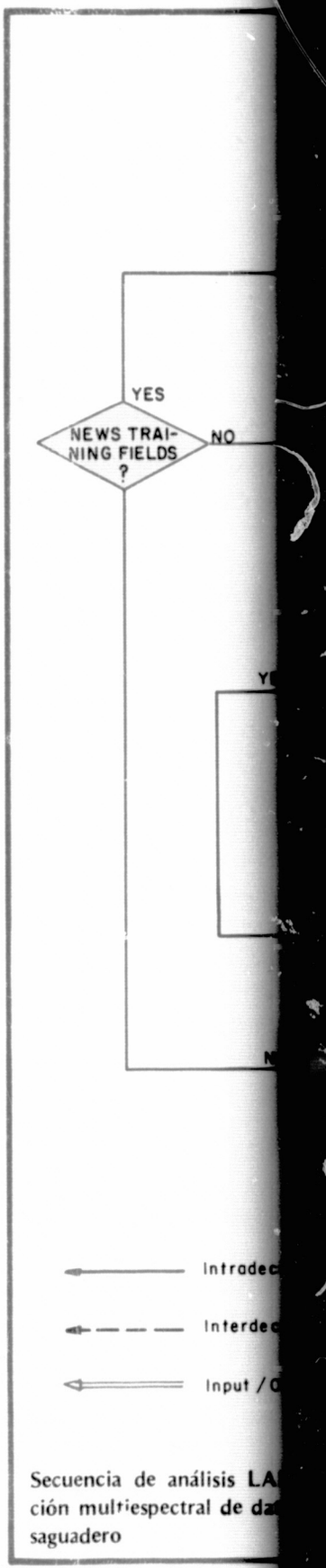


Figura 9

PROCESADORES DEL ANALISIS DEL SISTEMA "SOFTWARE" DE LARSIS

ANALYSIS PROCESSORS OF THE LARSYS "SOFTWARE" SYSTEM



Secuencia de análisis LA
ción multiespectral de da
saguadero

REPRODUCIBILITY OF THE
ORIGINAL PAGE IS POOR

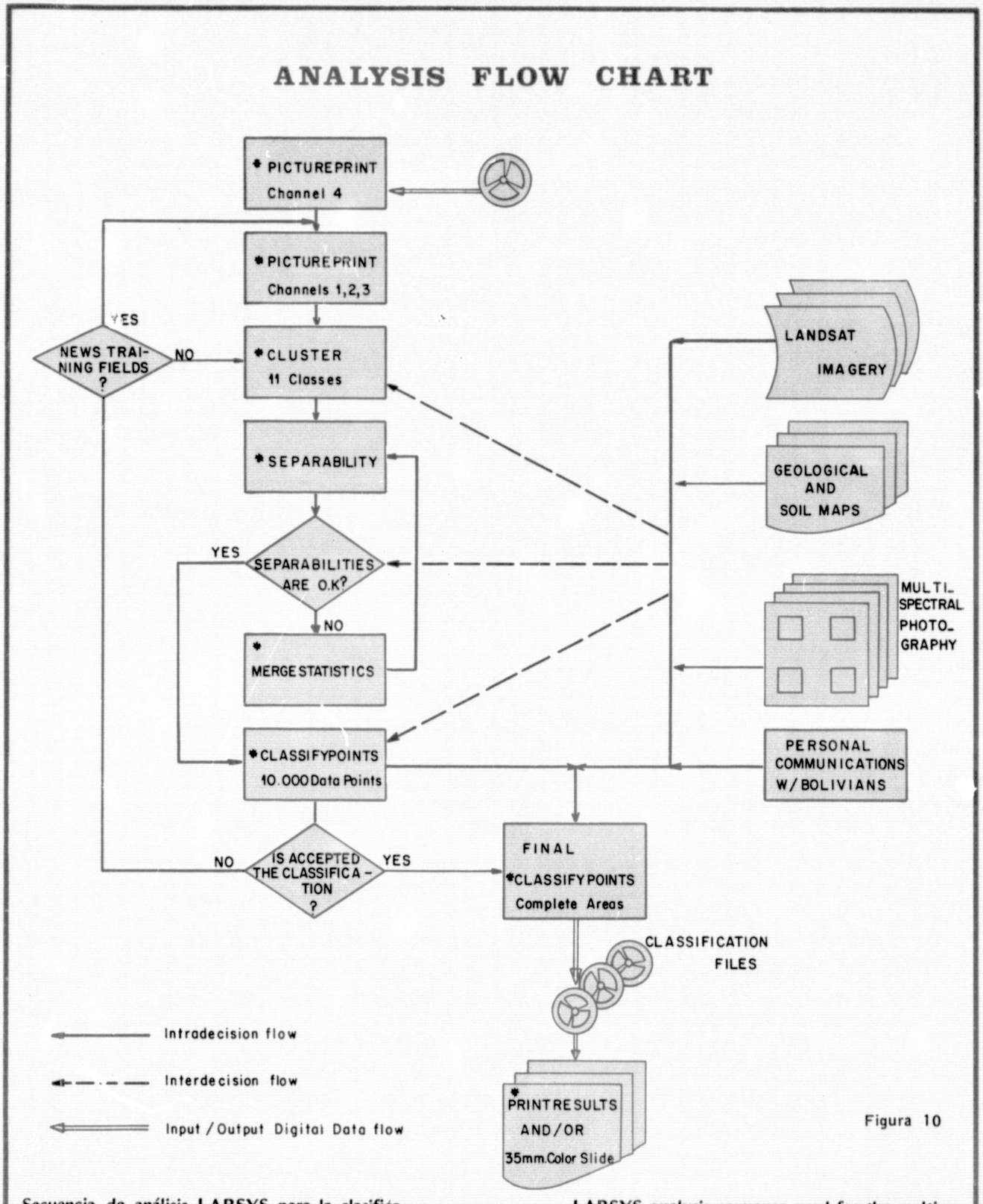


Figura 10

Secuencia de análisis LARSYS para la clasificación multiespectral de datos de LANDSAT-1 Desaguadero

LARSYS analysis sequence used for the multiespectral classification of the Desaguadero LANDSAT-1 MSS data.

disponibles y del conocimiento del área de los analistas. La secuencia particular de los pasos de procesamiento seguidos durante el análisis con ayuda de computadores de los datos del LANDSAT MSS del Desaguadero, se muestran en la figura 10.

Como ilustra la figura 10, el primer paso en la secuencia del análisis, es de obtener un resultado impreso de línea pictórico en la escala de grís de la banda espectral en la cual los rasgos de la superficie esten mejor definidos. En este estudio, datos de la banda 7 de LANDSAT (canal 4 de LARS de 0.8 - 1.1 um.) de todo el área a clasificarse, fueron dispuestos en escala 1:25.000, utilizando el procesador PICTUREPRINT de LARSYS.

Este resultado pictórico, fue usado para seleccionar áreas de prueba representativas para propósitos de "Clustering". Un ejemplo del resultado de PICTUREPRINT con áreas de prueba delineadas se muestran en la figura 11. El resultado impreso en línea pictórico de estas áreas de entrenamiento, fueron producidas en las bandas 4, 5 y 6 (canales 1,2 y 3 de LARS), para estar seguros de que las áreas de entrenamiento no contengan "Líneas malas de barrido". (1) Estas "líneas malas de barrido", pueden producir distorsiones en los parámetros estadísticos de las clases resultantes de "Cluster".

El siguiente paso en la secuencia de procesamiento, se ilustra en la figura 10, está referida como "Clustering" (Wacker y Landgrebe 1972). El algoritmo "Clustering" fue desarrollado para definir los parámetros estadísticos de las diferentes clases espectrales (grupos o "clusters") presentes en el paisaje. En esencia, el cluster es un algoritmo de clasificacion de la distancia interactiva Euclediana. El "Cluster" estadistico multiespectral resultante (matrices de media y co-varianza) están representadas por una distribución espectral de Gauss (normal), unimodal, que representa a los diferentes grupos espectrales presentes en el área de prueba. Las áreas de pruebas (para el "Clustering"), son seleccionadas por el analista de tal modo, de contener todos los rasgos posibles de la superficie representativas, usando su conocimiento del área y con información de referencia disponible.

La figura 12, ilustra un "mapa Cluster" del área delimitada en la figura 11. Los símbolos (alfa-numéricos) que designan las diferentes clases de Cluster y los correspondientes números de muestras por clase, también se muestran en la figura 12.

El "Clustering" de las diferentes áreas de entrenamiento, fue hecho usando las 4 bandas de longitud de onda disponibles de LANDSAT; ya que el analista debe especificar el número de grupos o 'Cluster" en los cuales las muestras multiespectrales serán agrupadas; una secuencia del análisis experimental inicial, se llevó a cabo y

1.– "Línea mala de barrido" se refiere a la línea de barrido con ruidos que algunas veces presentan los datos de la LANDSAT MSS.

This pintorial output was used to select representative training areas for clustering purposes. An example of a PICTUREPRINT output with outlined training areas is shown in Figure 11. Pictorial line printout of these training areas were produced for bands 4, 5, and 6 (LARS clannels 1, 1, and 3), in order to make sure that the training areas did not contain "bad scan lines."[1]) These bad scan lines can produce distortions in the statistic parameters of the resulting cluster classes.

The next step in the processing sequence, as illustrated in Figure 10, is referred to as "clustering" (wacker and Landgrebe, 1972). The clustering algorithn was developed to define the statistical parameters of the different spectral classes (groups or clusters) present in the scene. In assence, the cluster is an interactive Eucledian distance classification algorithm. The resulting multiespectral cluster statistics (mean and coveriance matrices) are represented by unimodal, Gaussian (normal) spectral distributions which represent the different spectral groups. present in the training area. The training areas (for clustering) are selected by the analyst in such a manner as to contain all possible representative surface features using his knowledge of the area of available reference information. Figure 12 illustrates a "cluster map" of the area outlined in Figure 11. The symbols (alphanumeric) designating the different cluster classes and the corresponding number of samples per class are also shown in figure 12.

The clustering of the differet training areas was done using all four available LANDSAT wavelength bands. Since the analyst must specify the number of clusters into which the multispectral samples are to be grouped; an initial experimental analysis sequence was carried out and it indicated (for this specific set of multispectral data) that the maximun number of different spectral groups (clusters) present in this data set, based in the mean interclass distance, is eleven spectral groups or clusters. Therefore, all training areas of each quedrangle were clustered into eleven spectral groups.

After the satellite multiespectral data have been grouped into the specified number of clusters (in this particular case into 11 clusters),the analyst has used two processors: (1) the SEPARABILITY and (2) the MERGESTATISTICS algorithms.

The LARS separability processor computes the spectral separability of all possible pair combinations of spectral classes. In essence, the separability algorithn calculates the pairwise transformed (saturated) divergence which can vary between 0

1.– "bad scan line" refers to the scan line noise some times present in LANDSAT MSS data.

REPRODUCIBILITY OF THE
ORIGINAL PAGE IS POOR

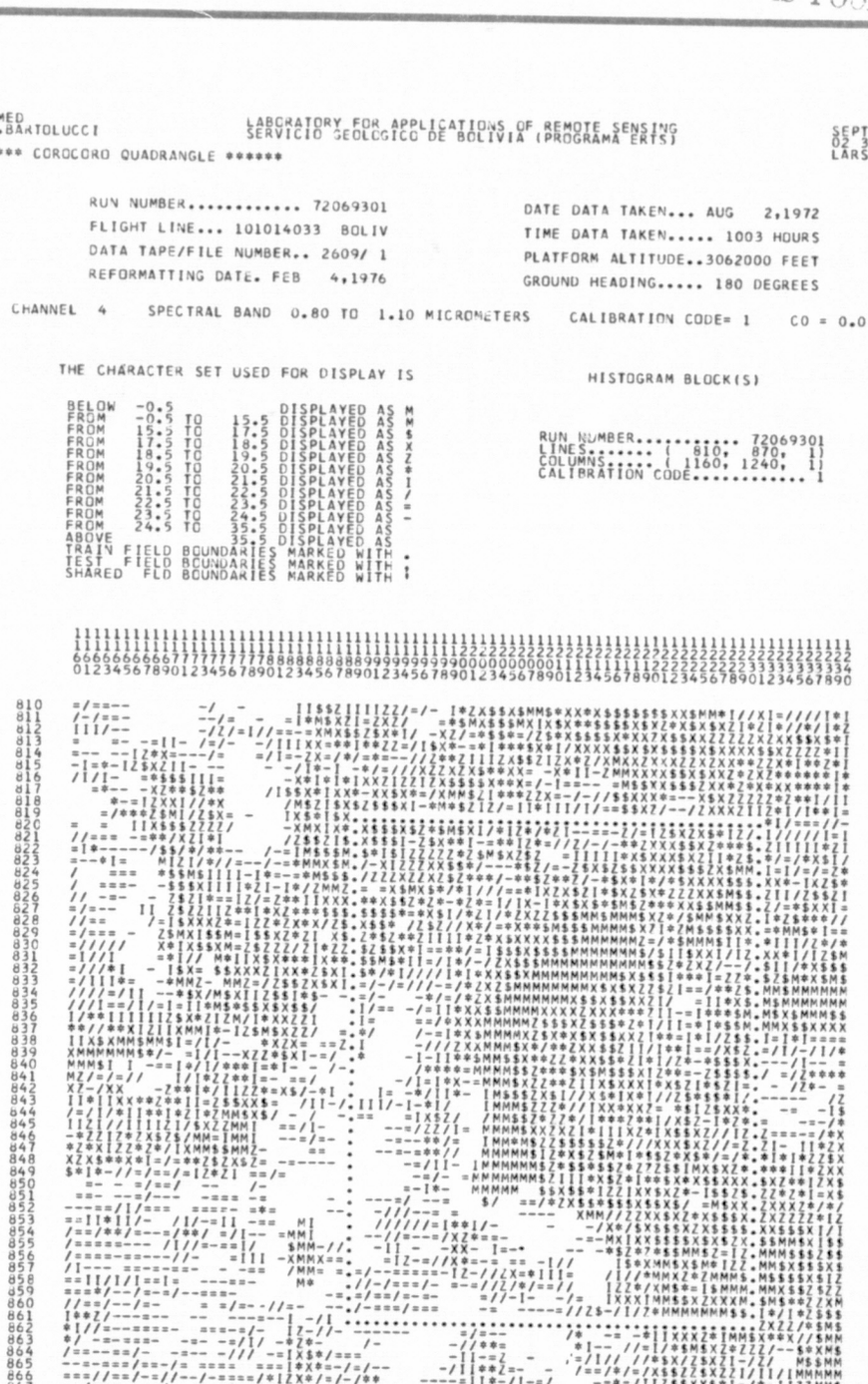


Figura 11

Salida impresa en línea pictórica en escala gris (PICTUREPRINT) de un área de la imagen LANDSATdel Desaguadero.

Gray scale pictorial line printer output (*PICTUREPRINT) of an area of the Desaguadero LANDSAT frame.

Mapa de
área delim

AND

o LA

REPRODUCIBILITY OF THE
ORIGINAL PAGE IS POOR

BATMED
L.A.BARTOLUCCI

LABORATORY FOR APPLICATIONS OF REMOTE SENSING
SERVICIO GEOLOGICO DE BOLIVIA (PROGRAMA ERTS)

SEPT 21,1976
02 37 49 PM
LARSYS VERSION 3

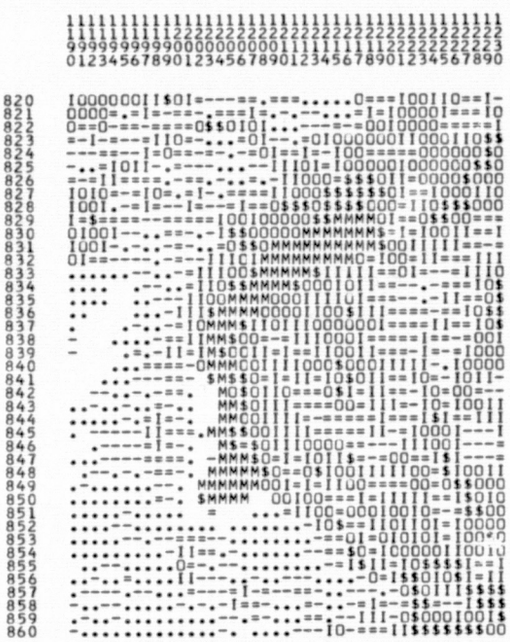
****** LAGUNA PARKOKOTA ******

FIELD INFORMATION

FIELD
RUN NO. 72069301
OTHER INFORMATION

TYPE
NO. OF SAMPLES 1681

LINES 820- 860 (BY 1)
COLUMNS 1190- 1230 (BY 1)



NUMBER OF POINTS PER CLUSTER

CLUSTER	1	2	3	4	5	6	7	8
SYMBOL		.	-	=	I	O	$	M
POINTS	55	288	229	311	303	303	109	83

Figura 12

Mapa de dispersión "cluster" del área delimitada en la figura 11.

Cluster map of the area outlined in Figure 11. Laguna Parkokota area.

se indicó (para este juego específico de datos multiespectrales) que el número máximo de grupos o "Clusters" espectrales diferentes presente en este juego de datos en base a la distancia media de interclases sea de 11.; por lo tanto, toda área de prueba de cada cuadrángulo fue agrupada en 11 grupos espectrales.

Después que los datos multiespectrales del satélite han sido agrupados en el número especificado de grupos o "Cluster" (en este caso particular en 11), el analista utilizó dos procesadores:

1) El de SEPARABILIDAD 2) Algoritmo MERSGESTADISTICO

El procesador de "Separabilidad" de LARS, computa la separabilidad espectral de todos los pares de combinaciones posibles de las clases espectrales. En esencia, el algoritmo de separabilidad calcula la divergencia transformada (saturada) de cada par que puede variar entre 0 (no separable) y 2.000 (separable) como ilustra la figura 13. Una descripción detallada del algoritmo de separabilidad LARS ha sido discutido por Swain y otros (1971).

La relación entre la divergencia relativa o valor de separabilidad (de 0 a 2.000 y la probabilidad de una clasificación correcta (en porcentaje), ha sido determinada por Swain y King (1973) como muestra la figura 14. Nótese en ésta, que para un valor de divergencia transformada de 1500, la probabilidad de una clasificación correcta es por lo menos del 82 % y puede alcanzar el 96 %. Los valores de separabilidad entre todas las clases espectrales consideradas en el análisis de los datos de LANDSAT del Desaguadero, están por arriba de 1500, por ejemplo, la media en porcentaje de una clasificación correcta (una línea intermedia sólida en la figura 14) es aproximadamente de 90 %.

El segundo de estos procesadores, es el algoritmo "MERGESTADISTICO", que es utilizado para combinar, añadir, y/o borrar clases espectrales para obtener un juego de clases espectrales estadísticas que pueden tener significancia de información y también pueden ser separables espectralmente.

Los procesadores de "SEPARABILIDAD" y "MERGESTADISTICO", son usados como un "Feed Back" tantas veces (interacciones) como se necesiten para obtener un juego final "refinado" de estadísticas espectrales, por ejemplo: un juego de matrices de covarianzas y medias espectrales que serán utilizadas como diseños multiespectrales de entrenamiento para la clasificación (CLASSIFYPOINTS) del juego de datos. La figura 15 muestra un ejemplo de las medias y las covarianzas en las cuatro bandas de longitud de onda de LANDSAT-1 MSS para cierto número de agrupamientos o "Clusters" espectrales de prueba.

La misma información estadística, está gráficamente ilustrada en forma de histogramas (gráfico de distribución de frecuencia) en la figura 16, y como un diseño espectral coincidente en la figura 17. Toda esta información estadística, en conjun-

(non-separable) and 1000 (separable) as illustrated in Figure 13. A detailed description of the LARS separability algorithm has been discussed elsewhere by Swain et al. (1971). The relations between the relative divergence or separability value (from 0 to 2000) and the probability of correct classification (in percent) has been determined by Swain and King (1973) as show in Figure 14. Note in Figure 14 that for a transformed divergence value of 1500 the probability of correct classification is at least 82 % and it could be up to 96 % . The separability values between all the spectral classes considered in the analysis of the Desaguadero LANDSAT data are above 1500, i.e., the mean percent correct classification (solid intermediate line in Figure 14) is approximately 90 % .

The second of these processors, that is, the MERGESTATISTICS algorithm is utilized for combining, adding, and/or deleting spectral classes to obtain a set of spectral statistics class which should have informational significance and also should be espectrally separable.

The SEPARABILITY and MERGESTATISTICS processors are used in a "feedback" mode as many times (Interactions) as needed in order to obtain a final "refined" set of spectral statistics, i.e. a set of spectral means and covariance matrices which are to be utilized as training multiespectral patterns for the classification (CLASSIFYPOINTS) of the data set. Figure 15 shows an example of the means and covariances in the four LANDSAT-1 MSS wavelength bands for a number of training spectral clusters. The same statistical information is illustrated graphically as histograms (frequency distribution graph) in Figure 16, and as a coincident spectral plot in Figure 17. All of this statitical information, in conjunction with the available complementary information, (aerial photography, geological and soils maps, etc.), is used by the analyst to monitor and control the computer-aided analysis of the satellite multispectral data throughout the different stages of the processing sequence.

As indicated by the analysis flow chart (figure 10), once a satisfactory set of training statistics has been generated, the next processing step involves a preliminary classification "CLASSIFYPOINTS" of a small area for purposes of determining the performance of the previously defined training statistics. At this point of the processing sequence, the analyst uses the preliminary classification results, makes a decisión whether the training class statistics are representative of the various ground cover types present in the scene, or if further refinement of the training statistics is required.

Once the analyst is satisfied with the results of the preliminary classification, this set of training statistics is used as input to the LARSYS maximun likelihood

BATMED
L.A.BARTOLUCCI

LABORATORY FOR APPLICATIONS OF REMOTE SENSING
SERVICIO GEOLOGICO DE BOLIVIA (PROGRAMA ERTS)

SEPT 21,1976
02 38 25 PM
LARSYS VERSION 3

SEPARABILIDAD ESPECTRAL DE 8 CLASES (LAGUNA PARKOKOTA)

RETENTION LEVEL .. 1 MAXIMUM 30000
MINIMUM 0

DIVERGENCE **WITH** SATURATING TRANSFORM

	CHANNELS	DIJ(MIN)	D(AVE)	WEIGHTED INTERCLASS DIVERGENCE (DIJ)									
				.(10)	_(10)	=(10)	I(10)	O(10)	$(10)	M(10)	._(10)	.=(10)	.I(10)
1.	1 2 3 4	1519.	1922.	1914	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1549	1998	2000

	CHANNELS	WEIGHTED INTERCLASS DIVERGENCE (DIJ)													
		.O(10)	.$(10)	.M(10)	_=(10)	_I(10)	_O(10)	_$(10)	_M(10)	=I(10)	=O(10)	=$(10)	=M(10)	IO(10)	I$(10)	IM(10)
1.	1 2 3 4	2000	2000	2000	1631	1992	2000	2000	2000	1519	1991	2000	2000	1561	1994	2000

	CHANNELS	WEIGHTED INTERCLASS DIVERGENCE (DIJ)		
		O$(10)	OM(10)	$M(10)
1.	1 2 3 4	1659	2000	1995

I0103 CPU TIME USED WAS 3.641 SECONDS. (LARSMN)

Figura 13

SEPARABILIDAD ESPECTRAL DE TODOS LOS PARES POSIBLES DE
COMBINACIONES DE LAS CLASES DE DISPERSION

Separabilidad espectral de todos los pares posibles de combinaciones de las clases de dispersión "Cluster"

Spectral separability of all possible pair combinations of cluster classes.

Probability of correct classification (Percent)
Probabilidad de clasificación correcta (Porcentaje)

REPRODUCIBILITY OF THE ORIGINAL PAGE IS POOR

Spectral separability of all possible pair combinations of cluster classes.

RELACION ENTRE LA DIVERGENCIA TRANSFORMADA Y LA PROBABILIDAD DE UNA CLASIFICACION CORRECTA.

Relationship between transformed divergence and probability (in percent) of correct classification.

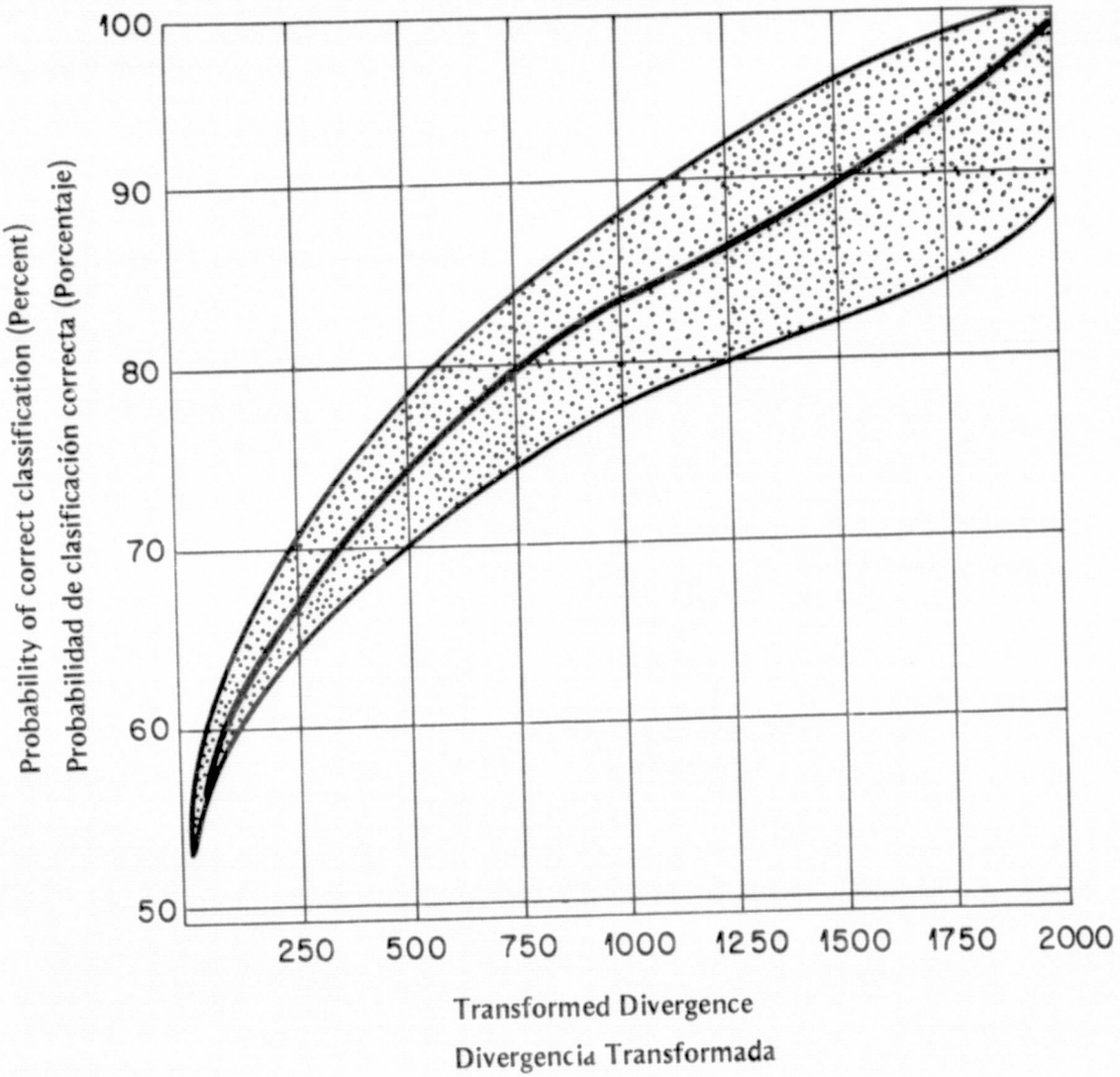


Figura 14

REPRODUCIBILITY OF THE
ORIGINAL PAGE IS POOR

REPRODUCIBILITY OF THE
ORIGINAL PAGE

BATMED
L.A.BARTOLUCCI

LABORATORY FOR APPLICATIONS OF REMOTE SENSING
SERVICIO GEOLOGICO DE BOLIVIA (PROGRAMA ERTS)

****** LAGUNA PARKOKOTA ******

SEPT 21,1976
02 37 16 PM
LARSYS VERSION 3

CLUSTERING INFORMATION

NUMBER OF CLUSTERS = 8 CLUSTERING UNIT SIZE = 1681 CLUSTERING INTERVAL = 1

CHANNEL NUMBER 1 SPECTRAL RANGE 0.50 TO 0.60 MICROMETERS CALIBRATION CODE 1
CHANNEL NUMBER 2 SPECTRAL RANGE 0.60 TO 0.70 MICROMETERS CALIBRATION CODE 1
CHANNEL NUMBER 3 SPECTRAL RANGE 0.70 TO 0.80 MICROMETERS CALIBRATION CODE 1
CHANNEL NUMBER 4 SPECTRAL RANGE 0.80 TO 1.10 MICROMETERS CALIBRATION CODE 1

CLUSTER	POINTS	MEANS CH(1)	CH(2)	CH(3)	CH(4)
1	55	45.65	56.35	56.29	25.93
2	288	35.98	48.13	50.48	23.98
3	229	33.07	43.21	46.49	22.07
4	311	30.39	39.91	42.89	20.42
5	303	28.43	37.09	40.13	18.71
6	303	26.90	34.13	36.62	17.01
7	109	25.01	30.00	31.73	14.50
8	83	16.14	12.12	9.51	2.75

CLUSTER VARIANCES

	CH(1)	CH(2)	CH(3)	CH(4)
1	14.05	14.05	15.80	5.44
2	2.68	4.30	4.41	2.45
3	3.94	2.26	2.98	2.50
4	1.98	1.58	1.74	1.60
5	1.90	1.66	1.86	1.15
6	2.45	2.31	2.34	0.93
7	3.62	6.04	7.85	2.77
8	8.20	20.03	27.38	7.83

Figura 15

Medias y varianzas de las clases espectrales definidas por el procesador de dispersión Area Laguna Parkhokhota.

Means and variances of the spectral classes defined by the clustering processor. Laguna Parkokota area.

REPRODUCIBILITY OF THE
ORIGINAL PAGE IS

BATMED
L.A.BARTOLUCCI

LABORATORY FOR APPLICATIONS OF REMOTE SENSING
SERVICIO GEOLOGICO DE BOLIVIA (PROGRAMA ERTS)

SEPT 21,1976
02 38 00 PM
LARSYS VERSION 3

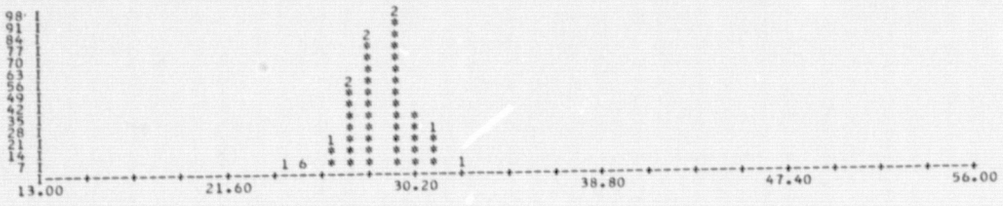
****** LAGUNA PARKOKOTA ******

HISTOGRAMS FOR CLUSTER CLASS 5 TOTAL NUMBER OF SAMPLES... 303

HISTOGRAM(S)

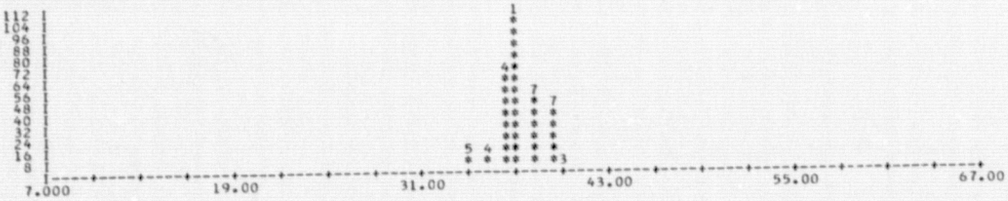
CHANNEL 1 0.50 - 0.60 MICROMETERS

EACH * REPRESENTS 7 POINT(S).



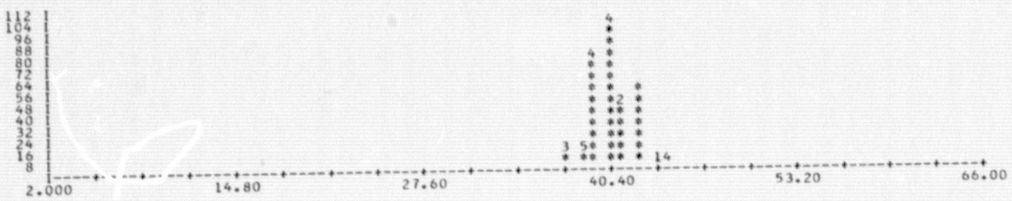
CHANNEL 2 0.60 - 0.70 MICROMETERS

EACH * REPRESENTS 8 POINT(S).



CHANNEL 3 0.70 - 0.80 MICROMETERS

EACH * REPRESENTS 8 POINT(S).



BATMED
L.A.BARTOLUCCI

LABORATORY FOR APPLICATIONS OF REMOTE SENSING
SERVICIO GEOLOGICO DE BOLIVIA (PROGRAMA ERTS)

SEPT 21,1976
02 38 03 PM
LARSYS VERSION 3

****** LAGUNA PARKOKOTA ******

HISTOGRAMS FOR CLUSTER CLASS 5 TOTAL NUMBER OF SAMPLES... 303

HISTOGRAM(S)

CHANNEL 4 0.80 - 1.10 MICROMETERS

EACH * REPRESENTS 8 POINT(S).

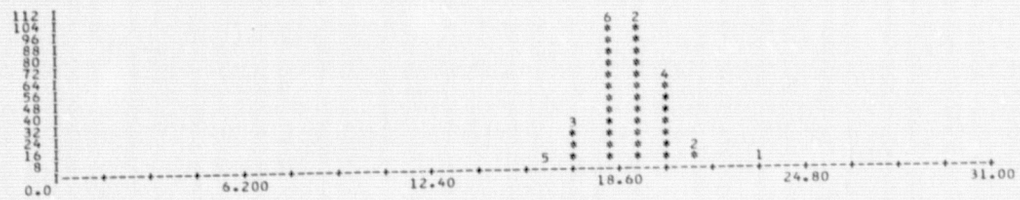


Figura 16

Histogramas de una clase de dispersión "cluster" en las cuatro bandas de longitud de onda de LANDSAT MSS. Area Laguna Parkhokhota.

Histograms of one cluster class in the four LANDSAT MMS warelenght bands. Laguna Parkokota area.

ción con la información complementaria disponible (fotografías aéreas, mapas geológicos, suelos, etc.) es usada por el analista para ejecutar y controlar el análisis con ayuda de computadoras de los datos multiespectrales del satélite a través de los diferentes estados de la secuencia del proceso.

Como se indicó en el diagrama de flujo del análisis (Figura 10), una vez que un juego satisfactorio de estadísticas de prueba ha sido generado, el paso siguiente del procesamiento es la clasificación preliminar "CLASSIFYPOINTS" de un área pequeña, para propósitos de determinar la ejecución de las estadísticas de prueba definidas previamente.

En esta secuencia de procesamiento, el analista usa los resultados de clasificación preliminar para tomar decisiones ya sea si las clases estadísticas de prueba son representativas de los varios tipos de cubierta del terreno presentes en el paisaje, o si se requiere un mayor refinamiento de los estadísticos de prueba.

Una vez que el analista está satisfecho con los resultados de la clasificación preliminar, este juego de estadísticas de prueba, es usado como entrada para clasificar con el máximo de probabilidad de LARSYS (CLASSIFYPOINTS) para producir una clasificación multiespectral final de todo el área de interés; por ejemplo un cuadrángulo entero.

El procesador CLASSIFYPOINTS LARSYS, combina la tecnología de computación digital moderna y la teoría de reconocimiento de diseños automáticos, para clasificar muestras multiespectrales en una de las varias clases posibles. El clasificador LARSYS, usa "la regla de decisión de máxima probabilidad" (Cardillo y Landgrebe, 1966), para asignar a cada punto de los datos multiespectrales en la clase espectral más probable previamente distinguida por la estadística de prueba.

La clasificación multiespectral resultante, es almacenada en una cinta magnética digital, de la cual los resultados de clasificación pueden ser recuperados o mostrados, ya sea en un mapa alfanumérico escala 1:25.000 usando un procesador de impresión de resultados (Figura 18), o en un producto fotográfico codificado a color usando el procesador "Photo" (Figura 19).

Además de los mapas de clasificación, el procesador de resultados impresos, provee al analista un juego de tablas estadísticas conteniendo información sobre:

1) Exactitud de clasificación

2) Porcentaje de muestras de datos clasificados en cada clase espectral

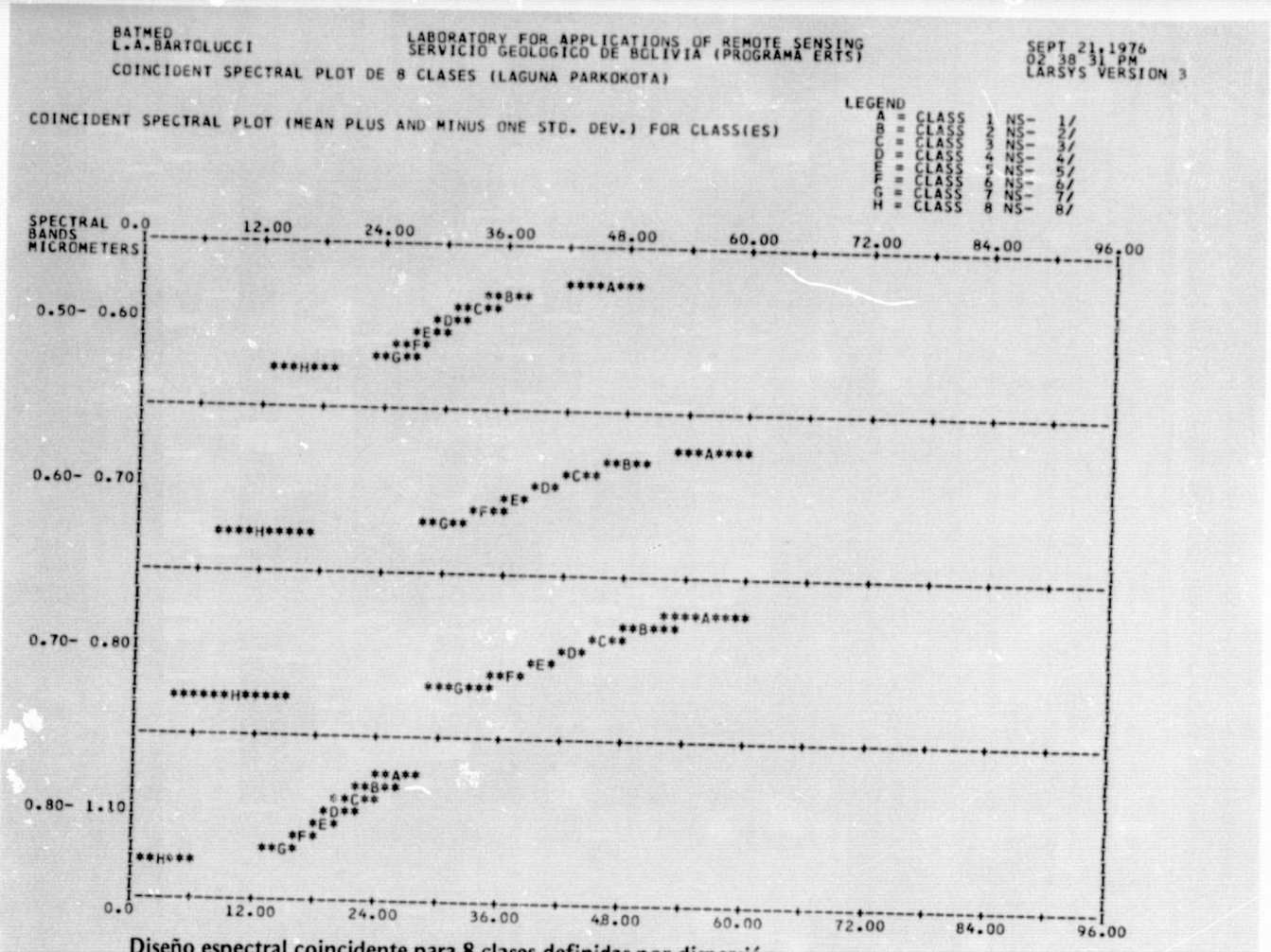
3) Número de muestras de datos por clase

Este juego de información tabular, puede ser usada para determinar facilmente el número de acres o hectáreas de cada tipo de cubierta del terreno presente en toda el área clasificada.

classifier (CLASSIFYPOINTS) in order to produce the final multiespectral classification of the entire area of interst, i.e. of an entire quadrangle.

The LARSYS CLASSIFYPOINTS processor combines modern digital computer technology and automatic pattern recongnition theory to classify multispectral samples into one of training statistics and is used as input to the LARSYS maximun likelihood decision rule" (Cardillo and Landgrebe, 1966), to assign each multiespectral data point into the most probablespectral class previously defined by the training statistics. The resulting multiespectral classification is stored in a digital magnetic tape from which the classification results can be retrieved and displayed into either 1:25,000 scale alphanumeric maps using the PRINTRESULTS processor (Figure 18), or as color-coded photographic products using the PHOTO processor (Figure 19).

In addition to the classification maps, the PRINTRESULTS processor provides the analyst with a set of statistics tables containing information on (1) the classification accuracy, (2) percent of data samples classified into each spectral class, and (3) the number of data samples per class. This set of tabular information can be used to easily determine the number of either acres, or hectares of each ground cover type present in the entire classified area.



Diseño espectral coincidente para 8 clases definidas por dispersión.
Coincident spectral plot for the 8 classes defined by clustering.

Figura 17

REPRODUCIBILITY OF THE
ORIGINAL PAGE IS POOR

Mapa codificado a color de clasificación producido por el procesamiento PHOTO de LARSYS.

Color-coded clasification map produced by the LARSYS *PHOTO processor.

Figura 19

REPRODUCIBILITY OF THE
ORIGINAL PAGE IS POOR

SEPT 21,1976
02 38 31 PM
LARSYS VERSION 3

NS- 1/
NS- 2/
NS- 3/
NS- 4/
NS- 5/
NS- 6/
NS- 7/
NS- 8/

.00 96.00

.00 96.00

Figura 17

BATMED
L.A.BARTOLUCCI

LABORATORY FOR APPLICATIONS OF REMOTE SENSING
SERVICIO GEOLOGICO DE BOLIVIA (PROGRAMA ERTS)

SEPT 21,1976
02 39 22 PM
LARSYS VERSION 3

RESULTADOS DE LA CLASIFICACION MULTIESPECTRAL

CLASSIFICATION STUDY 603543817
RUN NUMBER..... 72069301
FLIGHT LINE... 101014033 BOLIV
DATA TAPE/FILE NUMBER.. 2609/ 1
REFORMATTING DATE. FEB 4,1976

CLASSIFIED FEB 4,1976
DATE DATA TAKEN... AUG 2,1972
TIME DATA TAKEN..... 1003 HOURS
PLATFORM ALTITUDE..3062000 FEET
GROUND HEADING..... 180 DEGREES

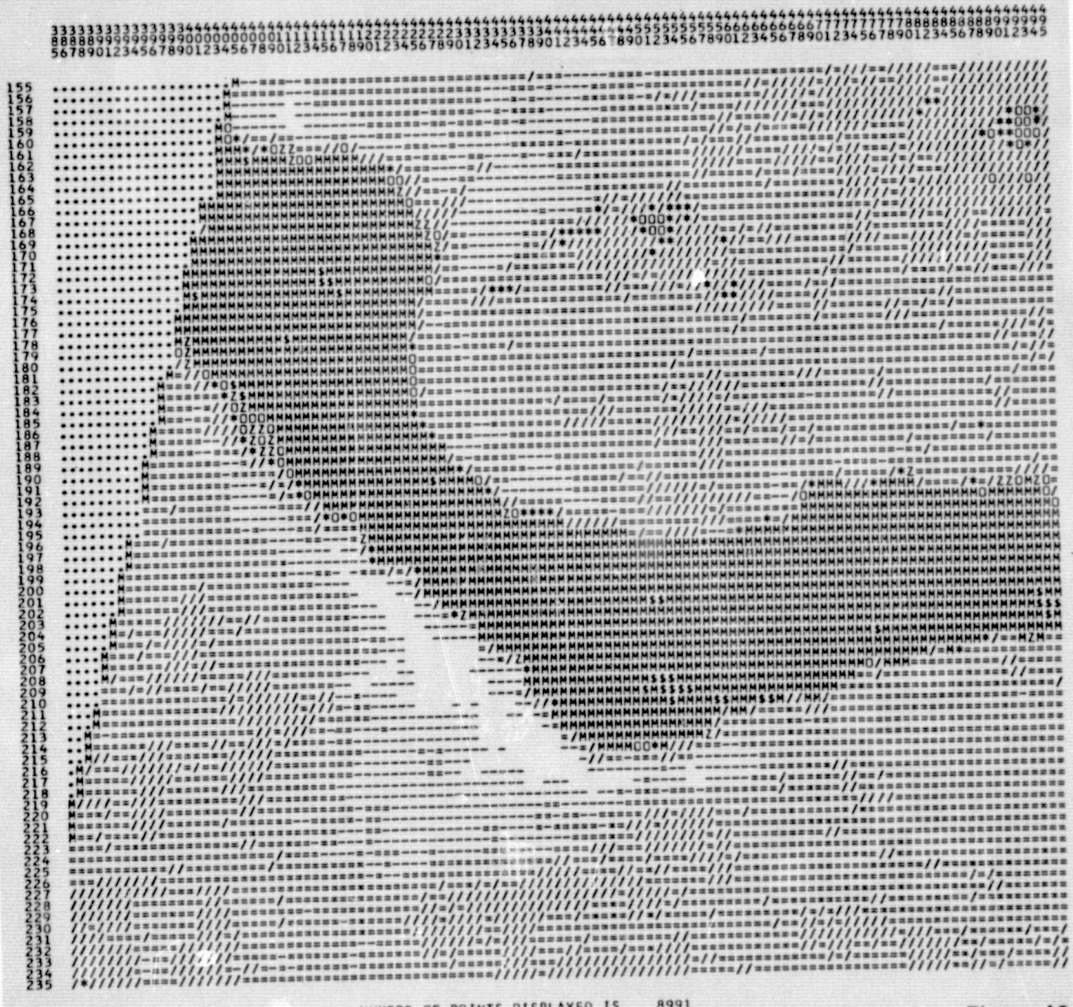
CLASSIFICATION TAPE/FILE NUMBER ... 672/ 1

CHANNELS USED

CHANNEL 1	SPECTRAL BAND	0.50 TO 0.60 MICROMETERS	CALIBRATION CODE = 1	CO = 0.0
CHANNEL 2	SPECTRAL BAND	0.60 TO 0.70 MICROMETERS	CALIBRATION CODE = 1	CO = 0.0
CHANNEL 3	SPECTRAL BAND	0.70 TO 0.80 MICROMETERS	CALIBRATION CODE = 1	CO = 0.0
CHANNEL 4	SPECTRAL BAND	0.80 TO 1.10 MICROMETERS	CALIBRATION CODE = 1	CO = 0.0

CLASSES

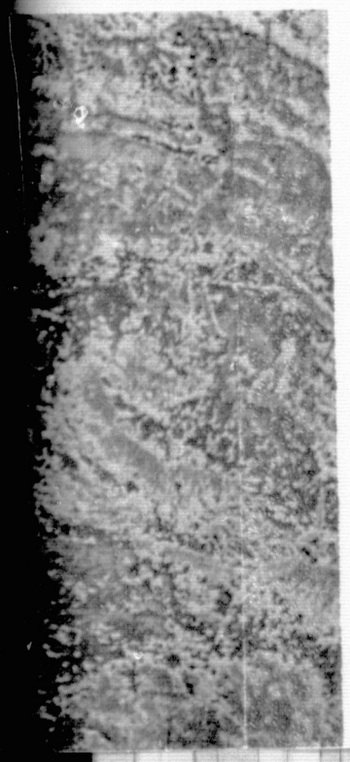
SYMBOL	CLASS	SYMBOL	CLASS
	S.MUY.SA	O	T.RX.SED
-	S.SALINO	Z	Q.GLCIAL
=	S.PLANO	$	SOMBRAS
/	S.PL-OND	M	AGUA
*	Q.CLVIAL	.	NULL 0.2



NUMBER OF POINTS DISPLAYED IS 8991

Figura 18

Mapa de clasificación alfanumérico producido por el procesador PRINTRESULTS de LARSYS.
Alphanumeric classification map produced by the LARSYS *PRINTRESULTS processor.



RESULTADOS DEL ANALISIS DIGITAL

Los resultados obtenidos de este estudio, indican que el número de clases espectrales separables encontradas en los datos multiespectrales de LANDSAT-1 del Desaguadero, varían desde 7 clases separables en el cuadrángulo de Eucaliptus a 12, en el cuadrángulo de Huayllamarca.

La respuesta espectral media de las clases en los varios cuadrángulos fue definida independientemente a través de agrupamientos o "Clusterings" individuales, encontrándose que muchas clases espectrales de los cuadrángulos están caracterizadas por una respuesta espectral similar, indicando la misma cubierta de terreno.

Es interesante notar, que en este juego particular de datos multiespectrales, la respuesta espectral de las clases de agrupamientos o "Clustering" en los diferentes cuadrángulos, tienden a seguir un diseño de distribución similar en las cuatro bandas de longitud de onda. Por ejemplo, si una clase de agrupamiento tiene una respuesta espectral alta en las dos bandas de longitud de onda visibles (0.5-0.6 um. 0.6-0.7um.) tambien tiene una respuesta espectral alta en las dos bandas del infrarrojo cercano, (0.7-0.8 um. 0.8-1.1 um.) y viceversa. Estos resultado eran esperados, ya que primariamente suelos desnudos y rocas expuestas tienen rúbricas espectrales que son correlacionadas, ya sea en las posiciones del espectro visible o del infrarrojo cercano.

Para definir las clases espectrales presentes en los diferentes cuadrángulos, se siguieron los tres procedimientos de agrupamiento o "Clustering"

1) Toda el área fue agrupada por intérvalos de muestreo regular de cada "n" líneas de barrido y cada "m" columnas, totalizando aproximadamente 10.000 muestras de datos.

2) Agrupamientos de cinco a siete áreas seleccionadas con 10 000 muestras aproximadamente, siendo combinadas las clases espectrales que tienen respuestas espectrales similares.

3) Las clases espectrales de cada cuadrángulo, fueron definidas usando solamente un agrupamiento de varias áreas pequeñas representativas seleccionadas cuidadosamente, las cuales totalizaban aproximadamente 10.000 muestras de datos.

DIGITAL ANALYSIS RESULTS

The results obtained from this study indicate that the number of separable spectral classes found in the Desaguadero LANDSAT-1 multiespectral data range from 7 separable classes in the Eucaliptus quadrangle to 12 separable classes in the Huayllamarca quadrangle.

Although the mean spectral response of the classes in the various quedrangles were defined independently through individual clusterings, it was found that several spectral classes from the different quadrangles were characterized by similar spectral responses, as would be expected in areas where the same ground cover type extends across the arbitrarily defined quadrangle.

It is interesting to note in this particular set of multispectral data, the spectral response of the cluster classes in the different quadrangles tended to follow a similar distribution pattern in all four wavelength bands. For example, if a cluster class has a high spectral response in the two visible wavelength bands (0.5 - 06 um and 0.6 - 0.7 um) it also has a high spectral response in the two near infrared bands (0.7 - 0.8 um andd 0.8 - 1.1 um), and visa versa. These results are to be expected since the main ground cover types in the entire frame are primarily bare soils and exposed rocks which have spectral signatures that are highly correlated in both the visible and near infrared portions of the spectrum.

To define the spectral classes present in the different quadrangle, three different clustering procedures were followed: (1) the entire area was clustered by regular sampling intervals of every "n" scan lines and every "m" columns totaling approximately 10,000 data samples, (2) clustering from 5 to 7 selected areas of approximately 10,000 samples and then pooling (i.e. combining). (3) the spectral classes of each quadrangle were defined using only one cluster os several carefully selected representative small areas which totaled approximately 10.000 data samples. The different results were compared as to mapping accuracy, computational efficiency, and the time required for the analyst to obtain the desired set of training statistics. This comparison showed that for this particular set of multispectral data, the spec-

Los diferentes resultados fueron comparados en cuanto a exactitud de mapeo, eficiencia en la computación y el tiempo requerido por el analista para obtener el juego deseado de estadisticas de prueba.

Esta comparación, mostró que para este juego en particular de datos multiespectrales, el procedimiento de definición de clases espectrales que incluía el agrupamiento o "Clustering" simple de varias áreas pequeñas representativas (secuencia 3), rindió la mejor exactitud en el mapeo y las eficiencias más altas en la computación en el tiempo para el analista.

Por lo tanto, esta frecuencia de procesamiento se siguió a través de todo el análisis con ayuda de computadoras de toda la imágen LANDSAT-1 MSS del Desaguadero.

Aunque el máximo número de clases requeridas del procesamiento de agrupamiento fue de 11, para ciertos cuadrángulos, el procesador de separabilidad, indicó que habían menos de once clases separables espectralmente. La revisión del analista de la referencia disponible (información de campo y su conocimiento del área), corroboraron los resultados del análisis numérico, por ejemplo había menos de once diferentes tipos de cubierta de terreno en esos cuadrángulos.

Otro resultado obtenido en este estudio, es el hecho que debido a las limitaciones en el rango de detección espectral del sistema de LANDSAT-1 MSS (0.5 a 1.1 um), no fue posible discriminar entre cuerpos de agua y sombras topográficas sobre las bases de una información espectral solamente. Consecuentemente, ambos, los cuerpos de agua y las sombras eran representados por una misma clase espectral.

Es significativa la respuesta espectral alta encontrada asociada con los diferentes tipos de cubierta de terreno, comparada con los mismos tipos de cubierta en otras regiones del mundo. Esta observación era de esperar por que la atmósfera enrarecida por la altitud (4.000 m.s.n.m.), permite llegar gran cantidad de radiación a la superficie de la tierra y por lo tanto, la radiación reflejada no experimenta una gran atenuación por los constituyentes atmosféricos. Por ejemplo, la respuesta espectral media relativa de los cuerpos de agua en las longitudes de onda del infrarrojo cercano (banda 7) en la región del Altiplano boliviano, tienen 10 contabilizaciones digitales en comparación a 3 encontradas en áreas similares de Indiana, Estados Unidos.

tral class definition produce incolving the single clustering of several small representative areas (sequence 3) yielded the best mapping accuracy and the highest computational (CPU) and analyst time efficiency. therefore, this processing sequence was followed throughout the computer-aided analysis of the entire Desaguadero LANDSAT-1 MSS frame.

Although the maximun number of classes requiered from the clustering processor was eleven, for certain quadrangles the separability processor indicated that there were less than eleven spectrally separable classes. The analyst's review of the available reference (ground truth) information and his knowledge of the areas corroborated the numerical analysis results, i.e., there were less than eleven different ground cover types in those quadrangles.

Another result obtained from this study is the fact that due to spectral detectivity range limitations of the LANDSAT-1 MSS system (0,5 - 1.1 um), it was not possible to discriminate between water bodies and topographic shadows on the basis of spectral information only. Consequently, both the water bodies and shadows are represented by the same spectral class.

Of particular significance is the high spectral response found associated with the different ground cover types as compared to the same ground cover types in other regions of the world. This observation is to be expected because the rarefied atmosphere at those high elevations (4,000 meters above sea level) allows a large amount of the incoming radiation to reach the earth's surface, and therefore, the reflected radiation does not experience a great deal of attenuation by the atmospheric constituents. For example, the relative mean spectral response of water bodies in the near infrared wavelengths (band 7) in the Altiplano region was found to be approximately 10 digital counts as compared to the spectral response of similar water bodies in the state of Indiana U.S.A. which have a spectral response of approximately 3 digital counts.

EVALUACION DE RESULTADOS

Generalidades

El mapeo con ayuda de computadoras de rasgos geológicos, suelos y uso actual de la tierra usando datos digitales de LANDSAT MSS, fué realizado en forma experimental, para determinar las ventajas y limitaciones de este tipo de obtención de datos (satélite) y sistema de procesamiento (LARSYS).

Ya que la descripción del sitio de prueba, los datos utilizados y la secuencia de procesamiento fueron presentados en detalle en secciones previas, a continuación se describe estrictamente la evaluación de los resultados desde el punto de vista del mapeo geológico, suelos y uso actual de la tierra. La evaluación se efectuó tomando en consideración los mapas de clasificación generados con computadoras y la información de referencia existente con los trabajos de verificación de campo.

General

The
LANDSA
determine
processing
and proce
tions, this
geological,
comparis
(ground tr

EVALUATION OF RESULTS

General

The computer-aided mapping of soils, geological and land use features using LANDSAT MSS digital data was conducted on an experimental basis in order to determine the advantages and limitations of this type of data gathering (satelite) and processing systems (LARSYS). Since the description of the test site, data utilized, and processing sequence have already been presented in datail in the previous sections, this part of the report will strictly describe the evaluation of the results from a geological, soils and land use mapping viewpoints. This evaluation was based on direct comparison of the computer-generated classification maps with existing reference (ground truth) information from field checking.

APLICACIONES EN EL MAPEO GEOLOGICO

Para apreciar los resultados del mapeo geológico con ayuda de computadoras, se seleccionaron tres áreas diferentes representativas del área cubierta por la imágen de LANDSAT del Desaguadero. La clasificación codificada a color correspondiente a estas tres zonas son: Choquecota, Huayllamarca y Jesús de Machaca, ilustradas en las figuras 20, 21 y 22 respectivamente.

Los colores de la figura 20, 21 y 22 han sido asignados arbitrariamente a las diferentes clases espectrales y éllos no reflejan de ningún modo el verdadero color de los varios tipos de cubierta de terreno.

Cuadrángulo Choquecota.

Una interpretación preliminar de los resultados de clasificación de esta área, muestra claramente que todos los afloramientos que forman la serranía de Huayllamarca, fueron identificados correctamente; tal como está ilustrado por las áreas en marrón oscuro en la figura 20 que corresponde a rocas expuestas en las pendientes desnudas de esta cadena montañosa. Las áreas azul verdosas, delinean aquellas partes de la cadena montañosa que han sido altamente intemperizadas, correspondiendo las áreas amarillas a aquellas rocas que tienen una capa delgada de suelos coincidente con la pendiente del buzamiento de las estructuras.

Las áreas azul oscuro (figura 20), presentes a lo largo de toda la cadena montañosa, representan las clases espectrales definidas "como sombras topográficas". Estas tienen una respuesta espectral similar (en las cuatro bandas de longitud de onda de LANDSAT) a aquellas de los cuerpos de agua. Consecuentemente, no fué posible diferenciar las sombras topográficas de los cuerpos de agua. Nótese en la figura 20, que el lago Canasa está bien delineado como un área de azul oscuro. La dificultad de diferenciar entre cuerpos de agua y sombras topográficas basados en información multiespectral solamente, no es única para el análisis de los datos del LANDSAT del Desaguadero. Este problema fué encontrado continuamente, toda vez que sombras y cuerpos de aguas se presentaban dentro del paisaje de LANDSAT.

El verde amarillento, grís azulado, rosado y los varios tonos de verde en la figura 20, corresponden a diferentes clases espectrales de suelos. Una evaluación detallada de esta clasificación de suelos, será discutida en la próxima sección de este informe. Sin embargo desde un punto de vista de interpretación y evaluación geológica, estas varias clases espectrales de suelos corresponden a depósitos cuaternarios

APPLICATIONS TO GEOLOGICAL MAPPING

To asses the results of the computer-aided geological mapping, three different areas (quadrangles) were selected as being representative of the entire area covered by the LANDSAT Desaguadero frame. The resulting color-coded classifications of these three quadrangles, that is, Choquecota, Huayllamarca, and Jesús de Machaca are shown in Figure 20, 21, and 22 respectively. The original scale of these classification maps is 1:25.000 when displayed in a computer line-printer format. The colors of Figures 20.21 and 22 have been arbitrarily assigned to the different spectral classes, and they do not reflect in any way the true color of the various, ground cover types.

Choquecota. A preliminary interpretation of the classification results from this area clearly showed that all the outcrops that forms the Huayllamarca mountain range were correctly identified. This is ilustrated by the dark bronwn areas in Figures 20 which correspond to exposed rocks in the scarp-slopes of the mountain range. The blue-green areas delineate those parts of the range that have been highly weathered, and the yellow areas correspond to those rocks that have a thin soil cover coincident with the dipslopes of the structures.

The dark-blue areas (figure 20) present along the entire length of the mountain ranges represent the spectral class defined as "topographic shadows". Both cloud and topographic shadows have a spectral response (in the four LANDSAT wavelength bands) equal to that of water bodies. Consequently, it was not possible to differentiate the topographic shadows from the water bodies. Note in Figure 20 that the Lake Canasa is well delineated as a dark-blue area. The difficulty in differenciating between water bodies and cloud or topographic shadows based on spectral information only is not unique to the analysis of the Desaguadero LANDSAT data. This problem has been encountered continuously whenever shadows and water bodies occur within the same LANDSAT scene.

The yellowish-green, bluish-gray, pink, and the various green colors in Figure 20 correspond to different spectral classes of soils. A detailed evaluation of these soil classification results will be discussed in the next section of this report. However, from a geological interpretation and evaluation viewpoint, these various spectral

Figura 20

Mapa de clasificación multiespectral del cuadrángulo de Choquecota.

Multispectral classification map of the Choquecota quandrangle.

REPRODUCIBILITY OF THIS
ORIGINAL PAGE IS POOR

CONCLUSIONES

1.– Las unidades Litológicas expuestas se identifican correctamente en relación a los materiales recientes, en base a diferencias de reflectancia.

2.– Son claramente observables cuerpos diapíricos y eflorescencias salinas.

3.– Depósitos glaciales son perfectamente identificables.

4.– Se identifican claramente lineamientos estructurales mayores.

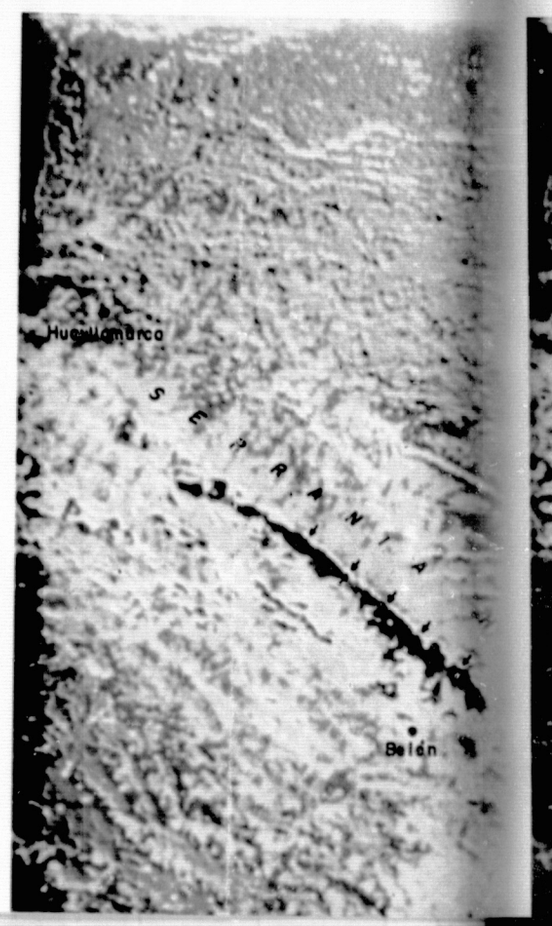
5.– La presencia de sombras topográficas enmascara afloramientos rocosos.

RECOMENDACIONES

1.– Es importante realizar reconocimientos de terreno con el fin de coleccionar información utilitaria para el procesamiento digital.

2.– Obtener fotografías aéreas de zonas con características definidas, para la fase de comparación de los resultados digitales.

3.– Efectuar chequeos específicos de terreno con los mapas alfanuméricos obtenidos para una correcta agrupación de clases espectrales.



CONCLUSIONS

1.– The exposed lithological units are correctly identified in relation to the recent materials, based in differences on reflectance.

2.– Saline efflorescense and diaporic bodies are clearly seen.

3.– Glacial deposits are perfectly identificable.

4.– Mayor structural lineaments are clearly identified.

5.– The presence of topographic shadows mask the rock outcrops.

RECOMENDATIONS

1.– It is very important to realize field work in order to collect information which will be utilized on the digital processing.

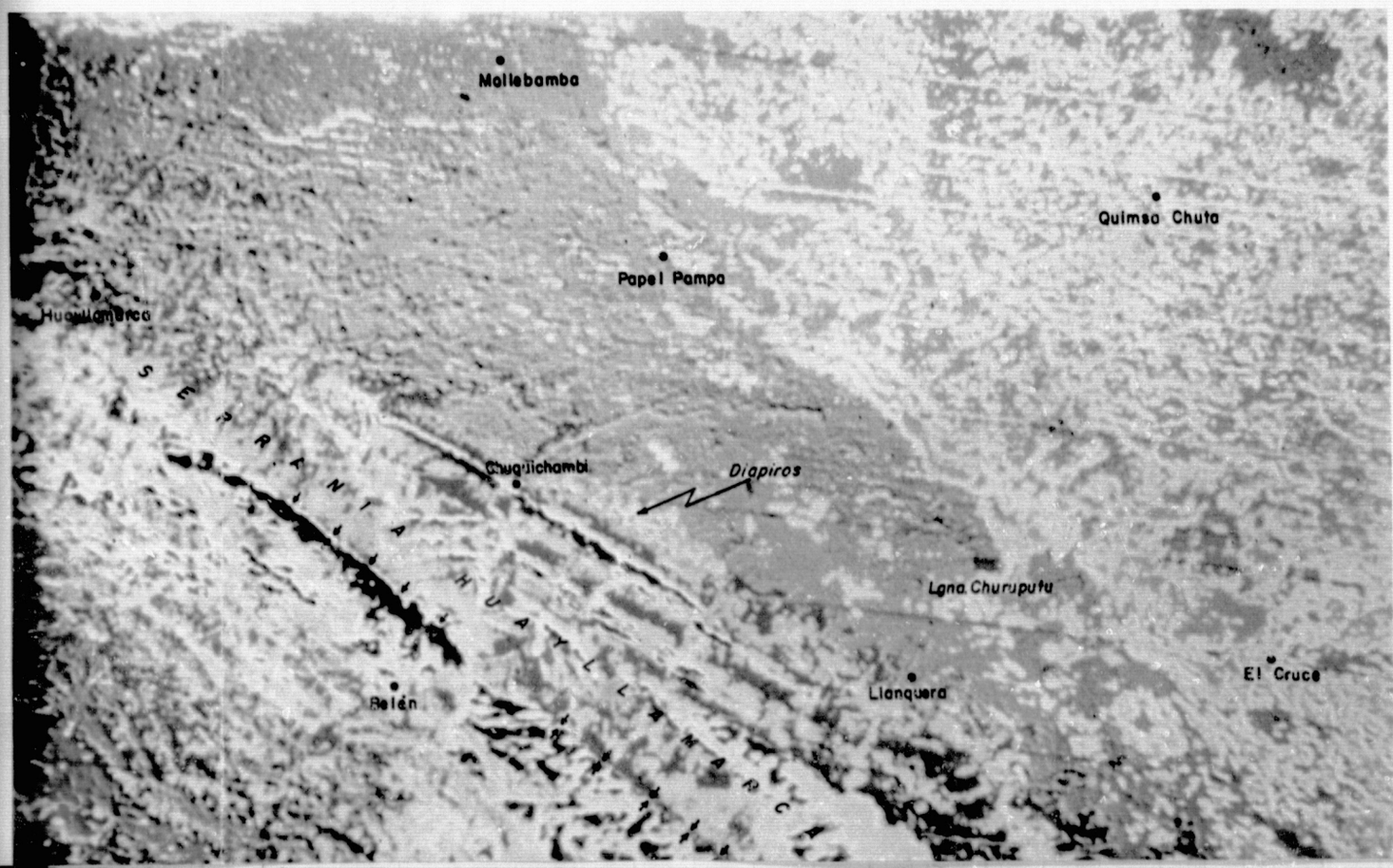
2.– It is recommended to obtain aerial photographs of areas with special characteristics for the comparison of the digital results phase.

3.– Specified field checking with the alphanumeric maps obtained for a correct spectral classes clustering should be carried out.

Mapa de clasificación multiespectral del cuadrángulo de Huayllamarca.

Multispectral classification map of the Huayllamarca quadrangle.

Figura 21



de diferente orígen. Finalmente, las áreas coloreadas en blanco, figura 20 (cuadrángulo Choquecota) representan eflorescencias salinas.

Cuadrángulo Huayllamarca.

Esta área ilustrada en la figura 21, está localizada al Norte del área previamente descrita (Choquecota).

El área de Huayllamarca presenta características geológicas similares a aquellas encontradas en el área de Choquecota, sin embargo contiene gran número de eflorescencias salinas.

Además de las características litológicas identificadas en la clasificación multiespectral del cuadrángulo de Huayllamarca se evidenció una serie de fallas coincidentes con alineaciones claramente definidas formadas por el contacto de dos clases espectrales diferentes (distintos colores en la figura 21 ver parte inferior central), sin que ello signifique la identificación de dos tipos de roca, debido a la cubierta de suelos y presencia de sombras generales por la topografía.

Las estructuras diapíricas (diapiros de yeso) presentes en el flanco Este de la cadena de Huayllamarca, están claramente delineados en la clasificación multiespectral como rasgos alargados (de color grís claro en la figura 21); la verificación de campo en esta área, mostró que el mapeo multiespectral de las estructuras diapíricas de Huayllamarca es confiable.

Cuadrángulo Jesús de Machaca.

En esta área los resultados de la clasificación multiespectral de LANDSAT (figura 22), mostraron que fué posible mapear con exactitud la extensión de los depósitos glaciales (color grís azulado) los cuales son claramente diferenciables de los sedimentos cuaternarios adyacentes (color amarillo). En forma similar, las rocas expuestas (afloramientos) en esta área, fueron clasificadas correctamente y se muestra en la figura 22 con color marrón rojizo.

Debido a que el ancho del río Desaguadero es menor que la resolución espacial (tamaño de pixel) del sistema de LANDSAT MSS, el curso de éste es delineado en base a la clasificación multiespectral (figura 22) por la clase representativa de los materiales cuaternarios adyacentes (amarillo), y los suelos enriquecidos en sal pintados de un color azul claro.

Es también importante notar que en los resultados de clasificación de los cuerpos de agua del cuadrángulo de Jesús de Machaca, una clase espectral diferente fué identificada en ellos, localizada en el centro y en los bordes de los mismos. El exámen de campo, indicó que esta clase espectral representa a vegetación.

En general, la evaluación de los resultados obtenidos en el procesamiento con ayuda de computadoras (análisis LARSYS) de los datos digitales de LANDSAT MSS del área Desaguadero, han mostrado que el mapeo geológico usando estas técnicas de percepción remota es satisfactoria en cuanto a habilidad para identificar afloramientos de rocas, delinear fallas y posiblemente diferenciar grandes unidades litológicas.

classes of soils correspond to quaternary deposits of different origins. Finally, the white colored areas in Figure 20 (Choquecota quadrangle) represent salt flats.

Huayllamarca. This area, illustrated in Figure 21, is located just north of the area previously described (Choquecota). The Huayllamarca area present similar geological characteristics as those found in the Choquecota area. However, it contains a larger number of salt flats.

In addition to the lithologic characteristics identifiable in the multispectral classification of the Huayllamarca quadrangle, a series of faults coincident with clearly defined lineations formed by the contact of two different spectral classes were observed. (different colors in Figure 21 see section central lower).

The diapiric structures (gypsum diapirs) present on the east flanks of the Huayllamarca range are clearly delineated on the multispectral classification as elongated features (light-gray color in Figure 21). Field checking of this area showed that the multispectral mapping of the Huayllamarca diapiric structures is highly accurate.

Jesús de Machaca. In this area the results of the LANDSAT multispectral classification (Figure 22) showed that it was possible to accurately map the extent of the glacial deposits (blue-gray color) which are well distinguished from the adjacent quaternary sediments (yellow color). Similary, the exposed rocks (outcrps) in this area were correctly classified and are shown in Figure 22 by reddish-brown color.

Because the width of the Desaguadero river is less than the spatial resolution (pixel size) of the LANDSAT MSS system, the river course is delineated in the multispectral classification (Figure 22) by the class representing the quaternary material (yellow) and the salt-enriched soils depicted by the light blue color.

It is also important to note that in the classification results of the water bodies of the Jesús de Machaca quadrangle, a spectral class different from the water spectral class was mapped in the center and the edges of the water bodies. Field examination showed that this spectral class represented the vegetation.

In general, the evaluation of the results obtained from the computer-aided procecessing (LARSYS analysis) of LANDSAT MSS digital data from the Desaguadero area has shown that geological mapping using these remote sensing techniques is satisfactory as far as the ability to identify rock autcrops, delineate faults, and possibly differentiate large lithologic units.

APLICACIONES EN EL MAPEO DE SUELOS

Generalidades.

De acuerdo a los resultados obtenidos por este sistema, se puede apreciar la aplicación de estas técnicas en el mapeo de suelos, ya que las respuestas multiespectrales de las diferentes unidades de suelos están basadas en los valores de reflectancia de cada una de éllas, las cuales se registran en las cintas magnéticas del LANDSAT en los cuatro canales del sistema MSS.

Al considerar este sistema se debe mencionar la precisión de los resultados obtenidos expresados por la cobertura superficial especialmente en lo que respecta a la identificación de cada unidad de suelos, al nivel semidetallado de suelos ya que la unidad mínima de mapeo es de 1 acre, lo cual significa que los productos finales permiten preparar mapas detallados de suelos.

Objetivos.

El objetivo de este trabajo, ha sido la presentación de una metodología completamente nueva para el país, la cual aplica los principios básicos de los Sensores Remotos en el estudio de suelos. El conocimiento obtenido a través del mismo, permitirá pensar en las ventajas que se obtienen por este método en relación con los levantamientos tradicionales. La aplicación de esta técnica, brinda rapidez, eficiencia y economía.

Resultados Preliminares.

A manera de experimentación se tomaron como ejemplos las áreas de Huayllamarca y Eucaliptus.

Area Huayllamarca (Figura No. 21).

Realizando un análisis general de este sector se pudieron diferenciar 10 clases espectrales que guardan relación con las observaciones de campo, lo cual podemos observar en la tabla No. 1.

APPLICATIONS OF DIGITAL CLASSIFICATION TO SOIL MAPPING

General

According to the results obtained by this systema it is possible to apreciate the application of these techniques to soil mapping, this system provides highly accurate soil maps, specially with regard to boundary delineation between soil units the level of detail is based on an approximately half hectare mapping unit.

A comparison of the results obtained by this mapping system with results from conventional soil mapping techniques, indicates that the digital classification system offers advantages in soil mapping as far as rapidity, accuracy, and economy are concerned.

Objectives

The objetive of this investigation was to introduce in this country the latest technological developments for soil mapping, using computer-aided processing of remotely sensed multispectral satellite data.

Preliminary Results.

To illustrate the aplications of computer-aided multispectral classification techniques to soil mapping, two color-coded classification results are shown in Figures 21 and 22, which correspond respectively to the Huayllamarca and Eucaliptus quadrangles.

Huayllamarca Area (Figure 21)

As can be seen on table 3, 10 different spectral classes related to field observations were noted after a general analysis of this sector was carried out.

TABLA No. 1

TABLE 1

AREA DE HUAYLLAMARCA

CODIGO DE COLOR	CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SUELOS
BLANCO	Suelos extremadamente salinos ubicados en la llanura con escasa vegetación muy resistente a la alta salinidad como la Khota (Azorella Spp) cubiertos por tola.
ROSADO	Suelos moderamente salinos, ubicados en la llanura, ligeramente convexos, generalmente cubiertos de tola.
CELESTE	Corresponde a suelos salinos cubiertos de pastos bajos; chiji blanco (Distichlis Mimilis).
CELESTE CLARO	Suelos salinos ubicados al pié de la serranía con escasa vegetación de pastos naturales y tola.
GRIS CLARO	Suelos fuertemente salinos, con escasa vegetación de pastos naturales.
VERDE OBSCURO VERDE CLARO	Suelos poco salinos, constituídos por texturas arenosas, con vegetación de tola.
CAFE ROJIZO	a) Areas rocosas en las serranías de Huayllamarca y Laurani. b) Deposiciones recientes de material transportados de las serranías sin cubierta vegetativa.
AMARILLO	Areas rocosas.
AZUL	Sombras en las serranías.

COLOUR CO
WHITE
PINK
LIGHT BLU
PALE BLU
PALE GRA
DARK AN LIGHT GR
REDDISH B
YELLOW
BLUE

TABLE 1

HUAYLLAMARCA AREA

COLOUR CODE	GENERAL CHARACTERISTICS OF SOILS
WHITE	Extremely saline soils (located) in the plains with little vegetation, highly resistant to high salinity, like khota (azorella Spp) covered by Thola.
PINK	Moderately saline soils, located on the plains, slightly convex, generally covered by Thola.
LIGHT BLUE	Saline soils covered by low grass i.e. white chiji (Distichlis humilis).
PALE BLUE	Saline soils located in the skirts of mountains with little vegetation of natural grass and Thola.
PALE GRAY	Highly saline soil, with little natural grass vegetation.
DARK AND LIGHT GREEN	Slightly saline sandy soils, with Thola.
REDDISH BROWN	a) Rocky areas in the mountainous regions of Huayllamarca and Laurani. b) Recent sediments transfered from the mountainous regions without vegetation.
YELLOW	Rocky areas.
BLUE	Shadows in the mountainous regions.

Una comparación de las figuras 21 y 24 con las tablas 1 y 2 y su significado en el campo, ilustra la gran cantidad de detalle en la cobertura que proporciona el sistema, habiéndose identificado perfectamente 10 tipos de suelos para el área de Huayllamarca y 7 para Eucaliptus (Tabla 1 y 2).

Sin embargo por el nivel de estudio, durante la generalización cartográfica se han reducido a 5 clases de suelos, puesto que la mayor diferencia se presenta solamente en el contenido salino, y para su perfecta identificación ha sido necesario realizar trabajo intensivo de campo.

Metodologia de trabajo.

En forma resumida, el estudio se realizó en seis etapas sucesivas que son las siguientes:

1.- La primera, consistió en la recopilación de bibliografía existente e interpretación de imágenes LANDSAT MSS a escala 1:250.000, para la confección del mapa fisiográfico, puesto que existe íntima relación entre las unidades fisiográficas y las clases de suelos. En esta etapa coadyuvan los mapas topográficos a escalas 1:250.000 y 1:50.000, que sirven como mapa base.

2.- Primera etapa de trabajo de campo a nivel de reconocimiento dentro del área que comprende la imágen Desaguadero bajo el siguiente órden:

a) Verificación de las unidades fisiográficas, identificadas en la imágen a escala 1:250.000.

b) Ubicación de las áreas de muestreo en la imágen que representan rasgos de identificación con los patrones de reconocimiento; estos rasgos son los que determinaron los parámetros de cada clase de suelos para su respectiva clasificación durante el análisis de computación del sistema LARSYS, que dió como resultado final los mapas de suelos digitalizados.

c) Descripción de perfiles típicos correspondientes a las diferentes unidades fisiográficas.

3.- Procesamiento de computación realizado en el "Laboratorio para la Aplicación de Percepción Remota" (LARS) de la Universidad de Purdue en Estados Unidos; efectuado en forma interactiva por el analista tomando los datos de campo (especificados en el párrafo b) de la primera etapa del trabajo de campo, lo cual dió como resultado los mapas de clasificación de suelos.

A comparison between Figures 21 and 24 with Tables 1 and 2 and their respective field information, shows the large amount of detail obtained by this system. Ten soil types for the Huayllamarca area and 7 for the Eucaliptus area were correctly identified (Tables 1 and 2).

Due to the level of the survey, however, only 4 types of soils have been identified during the mapping since the mayor difference lies only in the salinity content. Intensive field work has been carried out to accurately identify the characteristics of the soils.

Methodology.

The study was performed in six succeeding steps:

1. The first step included the compilation of a bibliography of the area and the interpretation of LANDSAT MSS images at a 1:250.000 scale. From these images and existing topographic maps, physiographic maps at a scale of 1:250.000 and 1:50.000 were produced. These physiographic maps were very useful because of the close relationship between physiography and soil units.

2. The first field work was at a reconnaissance level and it included the verification and description of:

   a) The physiographic units in the Desaguadero frame at a 1:250.000 scale

   b) The description of typical soil profiles corresponding to the different physiographic units.

   c) The location of the sample areas in the image from where identification features were obtained for each one of the soil classes. These statistical parameters were used for the computer-aided (LARSYS) classification which produced the final digitized soil maps.

3. Computer processing performed of the "Laboraty for Applications of Remote Sensing" (LARS), Purdue University U.S.A.

   This was done in an interactive way by the analyst with the data stored in magnetic tape (CCT Run 72069300) and the field information mentioned in (h); which resulted in the final soil classifiction map.

TABLA No. 2

TABLE 2

AREA EUCALIPTUS (Figura No. 24)

7 clases espectrales para Eucaliptus Tabla No. 2

CODIGO DE COLOR	CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SUELOS
BLANCO	Suelos extremadamente salinos con escasa vegetación muy resistente a la alta salinidad como la Khota (Azorella Spp)
CELESTE	Suelos fuertemente salinos, con escasa vegetación de Khota y Pastos naturales bajos.
AMARILLO	a) En llanura corresponden a suelos profundos con moderada influencia salina cubierta de pasto y tola. b) En pie de serranía ondulada, suelos moderamente salina cubierta de tola y pastos.
VERDE	Suelos arenosos muy escasamente afectados por salinidad y ligeramente convexos con cobertura de tola.
CAFE ROJIZO	a) Corresponde a dunas y arenales en las llanuras con paja brava y muy poca tola
AZUL CLARO	corresponde a las serranías con escasa cubierta de pastizales y tolares.
AZUL OBSCURO	a) corresponde a sombras en la serranía. b) corresponde a agua.

COLOUR CLOS
WHIT asa a Kh
LIGHTY B veg
prof rta YELLO os m
GREE dos ura
REDDISH B en l
LIGHT BL ubie
nía. DARK BL

TABLE 2

EUCALYPTUS AREA

(7 spectral classes for Eucalyptus)

COLOUR CODE	GENERAL CHARACTERISTICS OF SOILS
WHITE	Extremely saline soils sith little vegetation very resistant to high degrees of salinity, i.e. Khota (Azorella Spp).
LIGHTY BLUE	Highly saline soils with little vegetation i.e. khota and low pastures.
YELLOW	a) In the plains soils are deep, moderately saline covered with pastures and Thola. b) On ondulated mountains slopes soils are moderately saline with pastures and Thola.
GREEN	Sandy soils slightly affected by salinity having a slightly convex relief, covered by Thola.
REDDISH BROWN	a) Dunes and sand beaches in the plains covered with Paja brava and very little Thola. b) Rocky areas in the mountainous regions.
LIGHT BLUE	Mountainous regions with little pastures and Thola.
DARK BLUE	a) Shadows in the mountainous regions. b) Represents water.

4.- En la segunda etapa de trabajo de gabinete, se tomó como zonas experimentales las áreas de Huayllamarca (Fig. 21) y Eucaliptus (Figura 24); dividida en las siguientes fases:

a) Agrupación en los mapas alfanuméricos de las diferentes unidades de suelos tomando como unidad mínima de mapeo cinco elementos de resolución (2.5 hectáreas).

b) Reducción del mapa anteriormente indicado de escala 1:25.000 a 1:50.000, con el fín de sobreponer a los mapas topográficos en la misma escala, con el objeto de tener perfecta ubicación cartográfica para la consiguiente verificación de campo.

5.- Segunda etapa de trabajo de campo constituída por los siguientes puntos:

a) Ubicación de sitios característicos, entre el mapa topográfico y el mapa de suelos identificados con rasgos naturales del terreno.

b) Verificación de las unidades de suelos resultantes del procesamiento de computación con las caracteristicas reales del terreno.

c) Descripción de los perfiles modales o típicos en cada unidad de suelos según la "Guía de FAO para la descripción de perfiles de suelos" y utilizando en su clasificación el "Sistema Taxonómico de la Séptima Aproximación".

6.- Tercera etapa de trabajo de gabinete dividida en dos fases:

a) Con todos los datos anteriormente indicados, se hizo una generalización cartográfica, tomando como unidades de mapeo las consociaciones y las asociaciones de suelos.

b) Informe Final.

Resultados Finales.

La tabla No. 3 presenta el significado de los símbolos en el mapa alfanumérico y su relación con los suelos (Mapas 1 y 2)que fueron verificados en el campo en forma intensiva.

Leyenda del Mapa de Suelos.

Para la elaboración de la leyenda final del mapa de suelos escala 1:50.000, se tomó en consideración las unidades fisiográficas, debido a la estrecha relación existente entre suelo-paisaje. Tabla No. 4.

4. In the zona
Eucalip 24)
followi

a) As un
uros d

b) R
1:25
sc
mis
ha
cons

5. The sec
uient

a) Lo
sráfi

b) C
oces
th

c) Enida
Sos" y
troxi

6. The th
zo u

a) Ccon
as

b) F

Final Resul

en el
Table
eron
relation to

Legend of S

For th
os e
phic units
estre
soil and lan

4. In the second step of the cabinet work, the Huayllamarca (Figure 21) and Eucaliptus (Figure 24) areas were taken as experimental zones divided in the following phases:

   a) A grouping of the alphanumeric map-units of soils, the minimun mapping unit being a five element resolution (2.5 hectares).

   b) Reduction of the above-mentioned map to 1:25.000 and 1:50.000 scales, to overlay it with the topographic maps of the area, in order to have a perfect cartographic location for the field checking.

5. The second field work step was comprised by the following tasks:

   a) Location and adjustment of the characteristic sites of the topographic map, soil map, and the terrain features.

   b) Checking the soil spectral classes obtained by the computer analysis with the actual terrain characteristics.

   c) Description of the soil unit profiles according to the "FAO Handbook for Soil Profile Description" and using the "American Taxonomic Classification System ".

6. The third cabinet work step was divided into two phases:

   a) Cartographic generalization done with all the aforementioned data, taking as mapping units the soil consociations and asociations.

   b) Final report.

Final Results.

Table 3 shows the meaning of the symbols in the alphanumeric map and their relation to the soil types as verified intensively in the field. (Maps 1-2).

Legend of Soil map.

For the elaboration of the final legend of the soil map, the existing physiographic units were taken into consideration, because of the close realtionship between soil and land form. (See table 4).

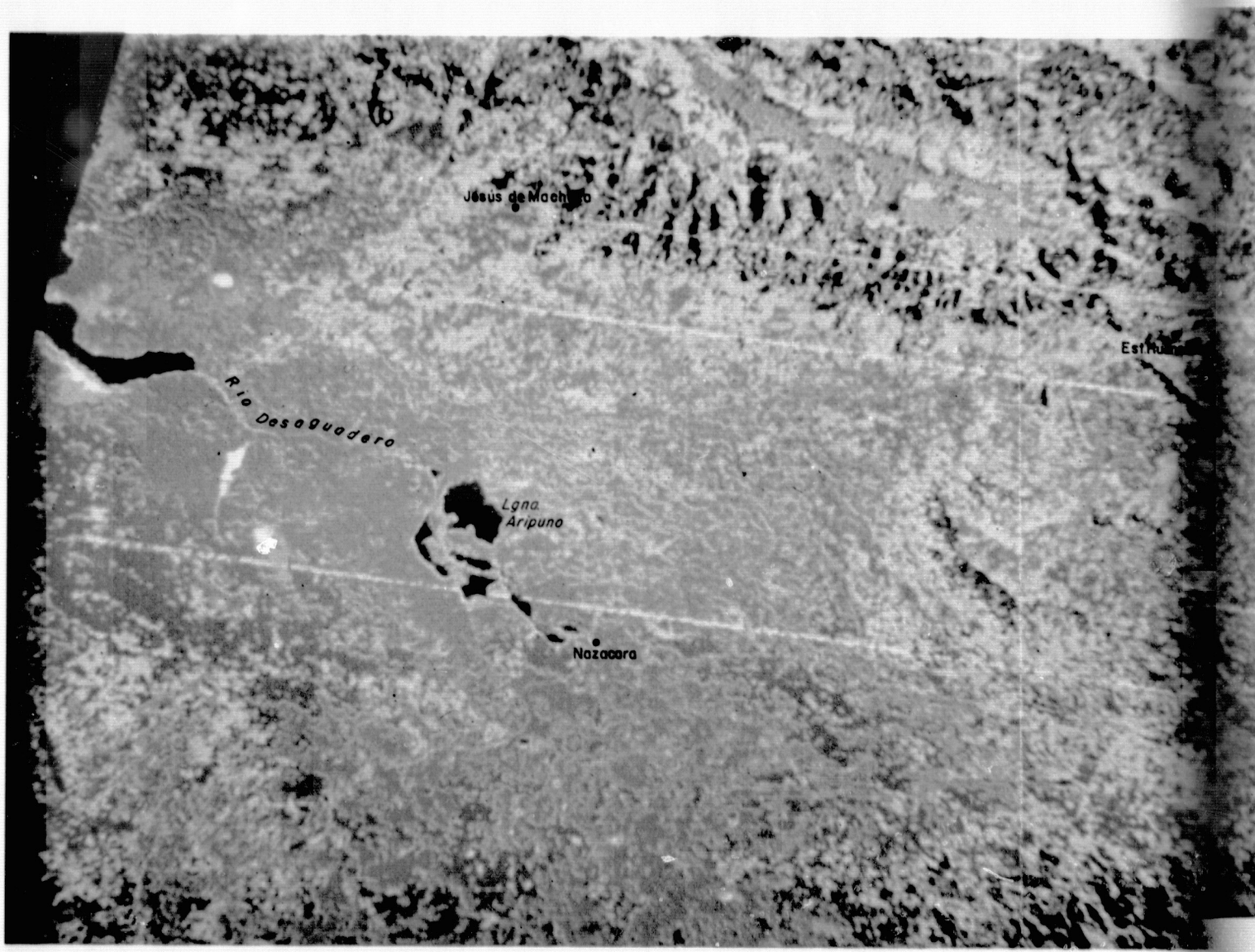


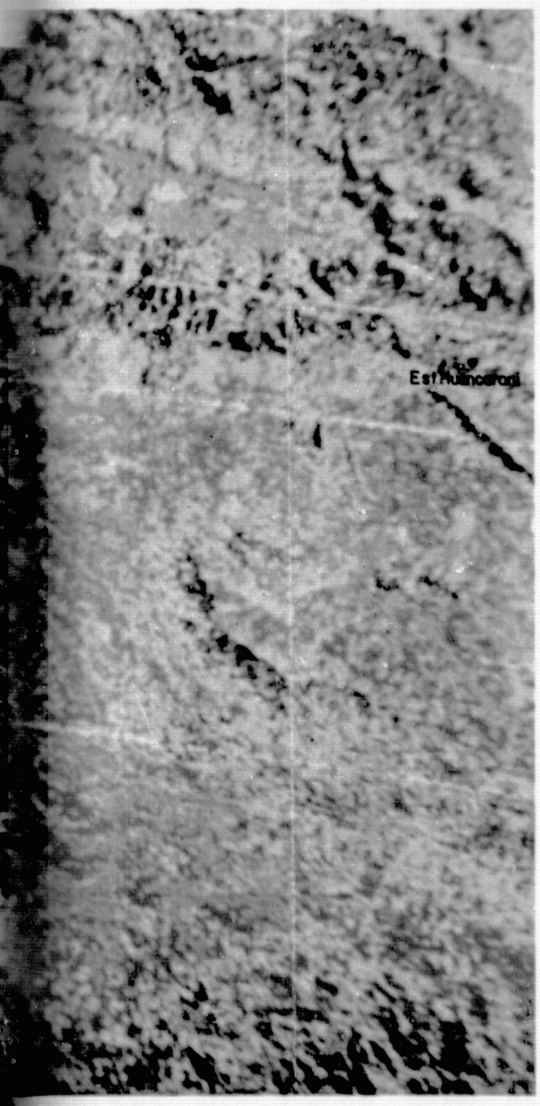
Figura 22

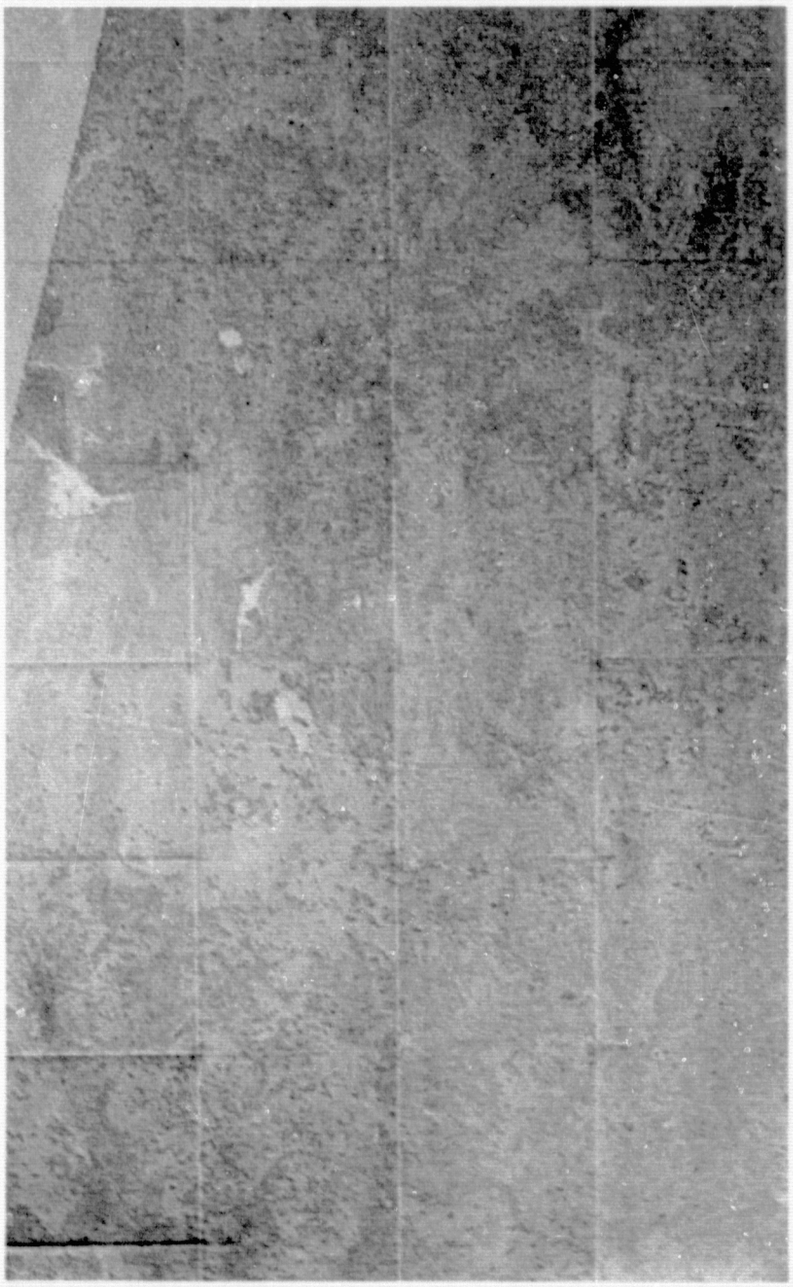
Mapa de clasificacion multiespectral del cuadrángulo de Jesús de Machaca.

Multiespectral classification map of the Jesús de Machaca quadrangle.

Fotografía del impreso de clasificación rico codificado a color de un sector d gulo de Jesús de Machaca.

Photograph of a color-coded alphanum fication. printout of a portion of th Machaca quadrangle.





Fotografía del impreso de clasificación alfanumérico codificado a color de un sector del cuadrángulo de Jesús de Machaca.

Photograph of a color-coded alphanumeric classification. printout of a portion of the Jesús de Machaca quadrangle.

Figura 23

REPRODUCIBILITY OF THE
ORIGINAL PAGE IS POOR

Mapa de clasificación multiespectral del cuadrángulo de Eucaliptus.

40B

REPRODUCIBILITY OF THE
ORIGINAL PAGE

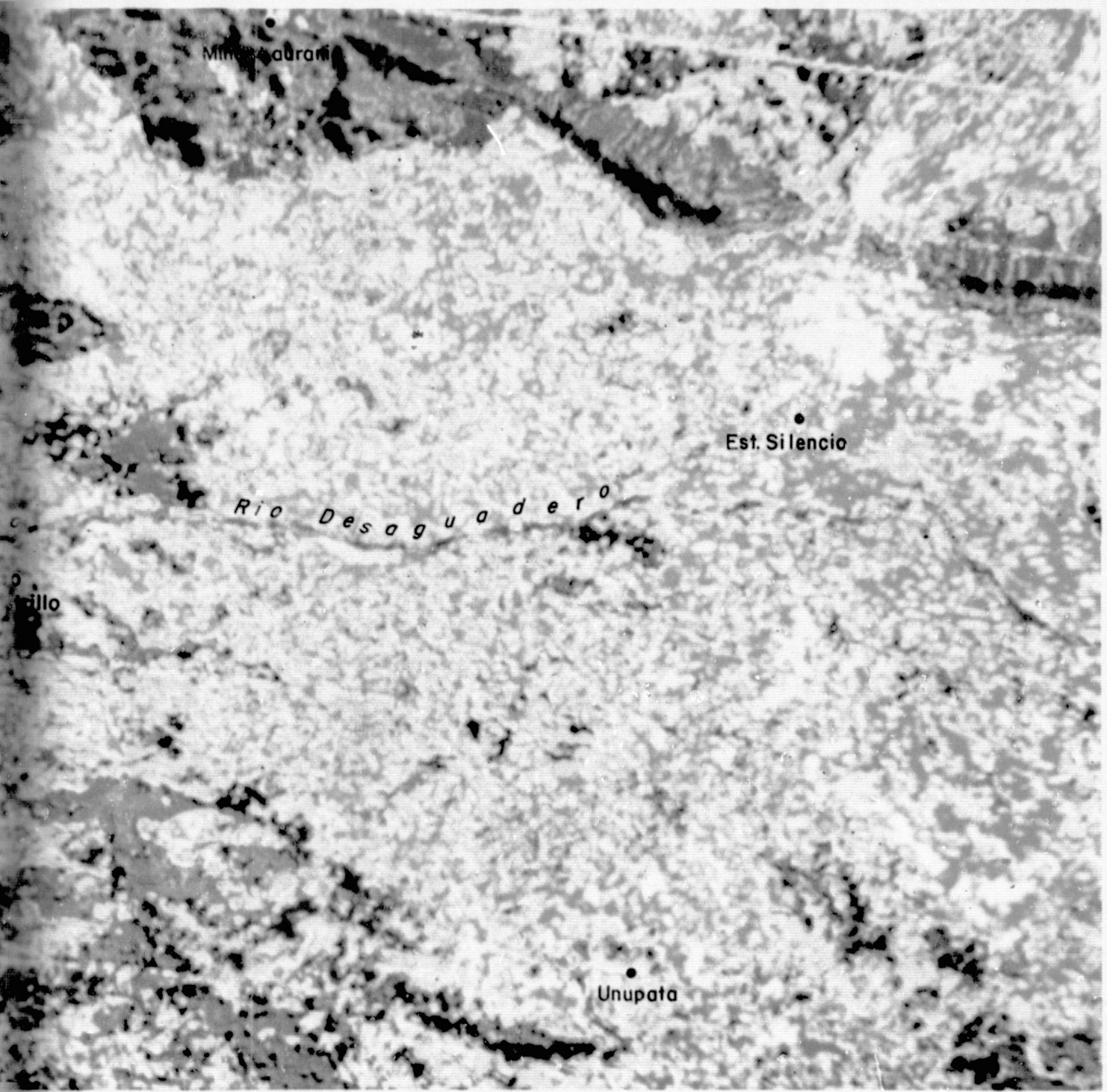


Figura 24

Multispectral classification map of the Eucaliptus quadrangle.

Clasificación de Suelos.

Consociación "Huayllamarca".

Orden.

Los suelos de la consociación Huayllamarca presentan un bajo desarrollo edáfico. En el perfil se presenta un epipedón ócrico y un horizonte cámbico; el primer identificado por el color claro y bajo contenido de materia orgánica, guardando el color una estricta similitud con el material parental. El segundo horizonte presenta una alteración substancial, en cuanto se refiere a la textura y estructura principalmente categorizado en el órden Inceptisol.

Sub Orden.

La presencia del epipedon ócrico fué la característica fundamental para incluír en el suborden de los Ochrepts, mostrando el desarrollo de un subhorizonte textural.

Gran grupo y Subgrupo.

El régimen de humedad al que pertenecen estos suelos es el ústico, considerado entre los regímenes arídico y údico; este término implica sequedad y el suelo permanece seco más de 90 días acumulativos al año; condiciones suficientes para incluirlos dentro el gran grupo de los Ustochrepts.

Por otra parte son suelos que tienen gran similitud, dentro de los 50 cms. de profundidad con el material parental, no habiendo sufrido el suficiente intemperismo para mostrar diferencia con los horizontes superficiales, estas condiciones indican la presencia de un contacto lítico, clasificándose como Lithic Ustochrepts.

Consociación "Las Lomas".

Orden.

La consociación Las Lomas, presenta un epipedón ócrico muy claro en color, muy alto en pureza (croma) mayor a 5 y muy bajo en materia orgánica, además de ser macizo y duro a la vez en seco; como sub-horizonte presenta un argílico que es un horizonte iluvial en el cual la arcilla ha sido acumulado por traslocación.

Este horizonte se forma debajo de un horizonte eluvial, pero también puede estar en la superficie si un suelo ha sido truncado parcialmente por erosión. Las evidencias de traslocación se han evidenciado por el aumento de arcilla con la profundidad y la presencia de cutanes. Por consiguiente clasificado en el Orden Alfisol.

Classification o

Huayllamarca C

Order.

A low eda
An ochric epip
is easily identif
notoriously res
as far as textur
ry.

Sub - Order.

The preser
sub order of t
sub-horizon.

Great Group an

The moistu
the Aridic and
over a cumulati
to enable its inc

On the oth
parent material
with the pedor
indicate there is

"Las Lomas" Co

Order

The "Las
purity (chroma)
masive and ha
horizon where cl

Classification of soils

Huayllamarca Consociation.

Order.

A low edaphic development is shown by the Huayllamarca Consociation soils. An ochric epipedon and a Cambic horinzon, are shown in the profile; the former is easily identifiable by its high colour and low content of organic matter; the colour notoriously resembling the original material. The latter show a substantial alteration as far as texture and structure is concerned principally within the Inceptisol category.

Sub - Order.

The presence of the ochric Epipedon was the main reason to include it in the sub order of the Ochrepts, thus showing the development of a textural cambic sub-horizon.

Great Group and Sub-Group.

The moisture regime to which this soil belongs is the Ustic, considered between the Aridic and Udic regimes; this term implies dryness and the soil remains dry for over a cumulative period of 90 days per annum; these conditions are sufficient so as to enable its inclusion in the Ustochrepts great group.

On the other hand these are very similar soils within 50 cm. depth to their parent material, which have not been weathered enough enough to show differences with the pedon. These are classified as Lithic Ustochrepts since the conditions indicate there is a lithic contact.

"Las Lomas" Consociation.

Order

The "Las Lomas" Consociation has a light coloured ochric epipedon of high purity (chroma) above 5 and with a very low content of organic matter ; it is masive and hard when dry. As sub-horizon, it shows an argillic which is an illuvial horizon where clay has acumulated by traslocation.

TABLA No. 3

AGRUPACION DE CLASES ESPECTRALES Y SIMBOLOGIA EN LOS MAPAS FINALES

SIMBOLOS		SIMBOLO EN EL MAPA	CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SUELOS
AREA EUCALIPTUS	AREA HUAYLLAMARCA		
ƀ	ƀ	A1.1	Clase que comprende a suelos extremadamente salinos, siendo estas características limitantes para cualquier cultivo. Solo existe como vegetación natural la Khota (Azorella spp) que es muy resistente a la salinidad.
		A2.1	Suelos extremadamente salinos que estan sujetos a unidades temporales, causadas por el río Desaguadero y en algunas zonas bajas. En esta área existe la Khota.
	– $ Z	A1.2	En la llanura corresponde a suelos moderadamente salinos con cobertura de chiji blanco (Distichlis humilis) y tola.
		S2.2	En pie de serranía ondulada, corresponde a suelos moderamente salinos cubiertos de chiji blanco y tola.
I	/ .	A1.3	Suelos ligeramente salinos, ubicados en áreas mejor drenadas con buena cobertura de tola y algunos pastos naturales.
$ M		Agua	En áreas planas corresponden a las proximidades del río Desaguadero, reflejada así por el sedimento transportado de las serranías y a masas de agua.
0		D	Dunas y arenales cubiertos por escasa vegetación de tola y paja brava.
Z $ M	0I*	S 1 S 2.1	Areas rocosas sobre todo en la serranía de Huayllamarca y Laurani además de algunos afloramientos rocosos presentes en la llanura.

TABLE 3

GROUPINGS OF SPECTRAL AND SYMBOLS USED IN FINAL MAPS

SYMBOLS		MAP	GENERAL CHARACTERISTICS OF SOILS
AREA EUCALIPTUS	AREA HUAYLLAMARCA		
$ M		Agua	guadero, reflejada así por el sedimento transportado de las

$ M		Agua	guadero, reflejada así por el sedimento transportado de las serranías y a masas de agua.
0		D	Dunas y arenales cubiertos por escasa vegetación de tola y paja brava.
Z $ M	0I*	S 1 S 2.1	Areas rocosas sobre todo en la serranía de Huayllamarca y Laurani además de algunos afloramientos rocosos presentes en la llanura.

TABLE 3

GROUPINGS OF SPECTRAL AND SYMBOLS USED IN FINAL MAPS

SYMBOLS			
AREA EUCALIPTUS	AREA HUAYLLAMARCA	MAP SYMBOL	GENERAL CHARACTERISTICS OF SOILS
¥ —	¥ —	A1.1	This class has extremely salty soils. This means limited farming. As natural vegetation there is only Khola (Azorella Spp) which is very resistent to salinity.
		A2.1	Extremely salty soils subject to temporary units caused by the Desaguadero River and in some low areas. Covered by Khola.
	— $ Z	A1.2	Moderately salty soils in the plains, covered by white "chiji" (Distichlis humilis) and Thola.
		S2. 2	Moderately salty soils on the slopes of ondulated mountainous regions covered by white "chiji" and Thola.
I	/ .	A1.3	Slightly salty soils located in areas with better drainage generously covered by Thola and some pasture.
$M		Agua	In the low lands they are located near the Desaguadero River, it is thus reflected by the sediment carried from the mountainous regions by the flow of water.
0		D	Dunes and Sandy soils poorly covered by Thola and "paja brava".
Z $ M	0I*	S 1 S2. 1	Rocky areas especially in the mountainous region of Huayllamarca and Laurani. Also some rock autcrops are found in the plains.

Suborden.

Son alfisoles bajo un régimen de humedad ústico, por mantenerse los suelos secos por más de 90 días acumulativos, siendo este un factor desfavorable al desarrollo vegetativo.

Gran grupo y Subgrupo.

Los suelos de la consociación Las Lomas estan incluídos dentro del gran grupo de los Haplustalfs por presentar las siguientes características:

a) Presencia de un horizonte argílico y no poseen horizonte nátrico.

b) No tienen un duripan dentro el metro de profundidad.

c) No tienen un horizonte petrocálcico dentro los 1.5 mt. de profunidad.

Además de las características anteriores estos suelos, están asociados o tendientes a un régimen de humedad arídico por que presentan propiedades físicas que impide la inflitración del agua; por lo cual se ha clasificado como Aridic Haplustalfs.

Consociación "Tola Pata".

Orden.

Pertenecen al orden de los Entisoles, por ser suelos minerales que no tienen otro horizonte diagnóstico fuera de un epipedon ócrico con texturas generalmente arenosas, formadas en pendientes fuertes donde la pérdida de suelos por erosión es mayor que la formación del mismo, o donde la acumulación de los materiales es muy alto como en las llanuras aluviales, dunas, etc.

Suborden.

Estos suelos corresponden al suborden de los Psamments, que son Entisoles que presentan debajo del horizonte Ah o 25 cm. de profundidad, texturas de arena francosa fina o más gruesa sin presentar rasgos definidos de identificación.

Gran Grupo y Subgrupo.

Estos suelos al igual que los anteriores, estan dentro del régimen ústico categorizado dentro de los Ustipsamments y además por no tener un contacto lítico dentro de 1 mt. conserva las características típicas de los Ustipsamments; por lo cual se lo ha clasificado a nivel de subgrupo como Typic Ustipsamments.

Asociación: Kolla, La Cantera, La Oveja, Chijini.

This horizo
at the surface if teners
tion phenomena orabl
presence of CUT

Sub - Order

They are c tro de
remain dry for
vegetative develo

Great Group and

The "Las L
Haplustalfs due nidad

a) Presence of
b) They lack a ociad
c) They lack a dade
Aridic

In addition
tend to have an
preclude water in

"Tola Pata" Con

Order. que n
neral

They belon eros
lack a diagnostic riales
res formed in st
formation; or wh
plains, dunes, etc

Sub - Order e son
textu

They are c icació
texture of fine
below the Ah ho

Great Group and el ré

These soils un c
turn is classified ment
1 m. they have s.
been classified in
Association: Kol

This horizon is formed under an eluvial horizon, however, it can also be found at the surface if a soil has been partially truncated due to erosion. The translocation phenomena have become evident due to the increase of clay with depth and the presence of CUTANES. Hence, it is classified under the Alfisol order.

Sub - Order

They are considered under a ustic moisture regime due to the fact that the soils remain dry for a cumulative period of over 90 days. Such fact does not favour a vegetative development.

Great Group and Sub - Group

The "Las Lomas" Consociation soils are included under the great group of the Haplustalfs due to the following characteristics.

a) Presence of an argillic horizon and lack of a natric horizon.
b) They lack a duripan within a depth of one meter.
c) They lack a petrocalic horizon within a depth of 1.5 m.

In addition to the aforementioned characteristics, these soils are related to or tend to have an Aridic moisture regime since they show physical properties which preclude water infiltration. Hence, they have been classified as Aridic Haplustalfs.

"Tola Pata" Consociation

Order.

They belong to the order of the entisols because they are mineral soils which lack a diagnostic horizon other than an ochric epipedon with generally sandy textures formed in steep slopes where the loss of soil due to erosion is higher than its formation; or where accumulation of material is very high as in the case of alluvial plains, dunes, etc.

Sub - Order

They are clasified under the Psamnents sub-order which are Entisols with a texture of fine loamy sand or coarser with no defined features to identify them below the Ah horizon or at 25 cm. depth.

Great Group and Sub-Group

These soils are similar to the above; they belong to the ustic regime which in turn is classified under the Ustipsamnents and since they lack a lithic contac within 1 m. they have the typical characteristics of the Ustipsamnents. Hence, these have been classified in the sub-group of the Typic Ustipsamnents.

Association: Kolla, La Cantera, La Oveja, Chijini.

Orden.

Estos suelos pertenecen al orden de los Aridisoles por estar asociados con climas áridos y semi-áridos, con vegetación desértica o de condiciones edáficas muy secas.

La evapotranspiración es mayor que las precipitaciones sin percolación significativa de agua en los suelos. Los perfiles de los Aridisoles son bién oxidados, los cuales se evidencian por el bajo contenido de materia orgánica y la falta de movimiento de óxidos de hierro libre.

Suborden.

Tomando en consideración que esta unidad corresponde a una asociación de suelos, es de suponer que corresponden a diferentes subórdenes, de los cuales se consideran las siguientes series:

Las series "Kolla, La Oveja y Chijini, pertenecen al subórden Orthids que son aridisoles que carecen de un horizonte argílico o nátrico a menos que el horizonte este sepultado.

La serie La Cantera pertenece a los aridisoles que tienen un horizonte argílico, por cuya característica está incluída dentro del suborden de los Argids.

Gran Grupo y Subgrupo.

La serie Kolla tiene un horizonte sálico a un mt. de profundidad característica por la cual se lo ha incluído dentro del gran grupo de los Salorthids y se lo considera como un pérfil típico, en consecuencia su clasificación a nivel de subgrupo corresponde a Typic Salorthids.

La serie La Cantera está clasificada como un Typic Haplargids; que representa a un aridisol con un mínimo horizonte argílico (hapl del griego haplous-simple) y es el más típico dentro de este subgrupo.

Las series La Oveja y Chijini, están incluídos dentro del gran grupo de los Camborthids, porque ambos tienen un horizonte cámbico y no poseen horizonte argílico y a nivel del subgrupo los de la serie La Oveja al presentar una ligera cementación por sílice sin llegar a ser un duripan, está clasificado como un Duric Camborthids; y la serie Chijini, se ha considerado dentro del subgrupo de los Vertic, por presentar grietas en la superficie hasta un metro de profundidad, en consecuencia son suelos que estan intergradando el orden de los aridisoles hacia los vertisoles; por lo cual ha clasificado como Vertic Camborthids.

Asociación: Hornillos - La Joya.

Order

These soils belong to the order of the Aridisols because of their association with arid and semiarid climates with desert vegetation or with edaphic conditions which are too dry.

The evapotranspiration is higher than the precipitation without significant water percolation in the soils. The features of the Aridiols are strongly oxidized and become evident due to their low organic matter content and the lack of free iron oxides movement.

Sub - Order

If we consider that this unit belongs to a soil association it is assumed that they belong to different sub-orders among which the following series can be considered.

The series Killa, La Oveja and Chijini belong to the order of the Orthids which are aridisols lacking a natric or argillic horizon unless the horizon is below ground.

La Cantera series belongs to the aridisols with an argillic horizon; hence it is included in the Argids sub-order.

Great Group and sub Group

The Kolla series has a salic horizon of 1m. depth. That is why it has been included within the great group of the Solorthids and is considered a typical feature. Thus it is classified in the sub-order of the Typic Salorthids.

The series La Cantera is classified as a Typic Haplargids which represents an Aridisol with a reduced argillic horizon (Hapl from the Greek haplous-meaning simple) and is the most representative within this sub-group.

The series La Oveja and Chijini are comprised within the great group of the Camborthis since both have a cambic horizon and lack an argillic horizon.

The series La Oveja are also included at a sub-group level under the Duric Camborthids since they show a slight cementation by silica, however without becoming a duripan.

The series Chijini are classified under the Vertic sub-group for their surface cracks douwn to 1. depth. Therefore these are soils which are gradually changing from the order of the Aridisols to the order of the Vertisols, hence these have been classified as Vertic Camborthids

Association: Hornillos, La Joya.

Orden.

Estas dos clases de suelos estan asociadas bajo el órden de los aridisoles, que al igual que los anteriores suelos, estan ubicados bajo climas áridos donde las precipitaciones no pasan de los 400 mm. y las estaciones secas sobrepasan los 8 meses por consiguiente los suelos se conservan secos la mayor parte del año; razones por demas claras para considerarlas dentro este orden.

Suborden.

Ambos suelos de esta asociación, tienen un horizonte cámbico (del latín cambiare-alteración); que se refiere a un horizonte Bt, no presenta semejanza al material parental, ocurriendo fenómenos de alteración significativas. Por estas razones han sido clasificados bajo el suborden de los Camborthids.

Gran grupo y Subgrupo.

La serie Hornillos tiene características vérticas, razón por la cual también está intergradando el órden Aridisol, por lo cual se da el nombre de Vertic Camborthids, a nivel de subgrupo.

En cambio, la serie La Joya presenta un horizonte cámbico, régimen de humedad ústico, y características mínimas de desarrollo del suelo, por lo cual está intergradando del órden Entisol hacia Aridisol clasificado como Ustentic Camborthids.

Asociación Tolar A - Tolar B.

Orden.

En este caso se han asociado dos ordenes de suelos; la serie Tolar A., es considerado como un Aridisol cuyas características son ya bastantes conocidas: La serie Tolar B, está clasificada en el orden de los Inceptisoles ya que estos no tienen características diagnósticas para tomarlos en otros ordenes.

La razón fundamental para asociar a estos dos órdenes es que pertenecen a una misma unidad fisiográfica, presentando características de salinidad casi normales.

Suborden.

La serie Tolar A, también está clasificada dentro del suborden de los Camborthids cuyas características ya se han mencionado anteriormente.

En cambio la serie Tolar B tiene un Epipedon ócrico razón por la cual se la ha incluído en el subgrupo de los Ochrepts que quiere decir un Inceptisol con epipedon ócrico.

Order

These two
as the aforem
exceed 400 m
most of the ye

Sub - Order

Both soils
re – change) y
the parent ma
they have been

Great Group an

The series
change from
Camborthids

On the othe
and minimal
from the Entis
thids.

Association: To

Order

Two type
which is consi
classified unde
teristics.

The fund
belong to the

Sub - Order

The series
racteristics of

The series
included under
Ochric epipedo

Order

These two types of soils are classified under the order of the Aridiosols which as the aforementioned soils are located in arid climates where rainfall does not exceed 400 mm. and the dry season lasts over 8 months, thus the soils remain dry most of the year.

Sub - Order

Both soils under this association have a cambic horizon (from the latin cambiare – change) which is related to a Bt. horizon It does not show any similarity with the parent material, with a significative alteration phenomena taking place. Hence they have been classified under the Camborthids sub-order.

Great Group and Sub - Group

The series Hornillos has vertic characteristics thus it is gradually undergoing a change from the aridisols to the Vertisols. Hence it is classified under the Vertic Camborthids sub-group.

On the other hand the series La Joya shows a cambic horizon, Ustic moisture regime and minimal soil development characteristics. Therefore it is gradually changing from the Entisol order to the Aridisols. Hence it is classified as Ustentic Camborthids.

Association: Tolar A, Tolar B.

Order

Two types of soils have been grouped together in this case: Tolar A series which is considered an Aridisol with already know characteristics, and Tolar B series classified under the order of the Inceptisols due to their lack of diagnostical characteristics.

The fundamental reason for grouping together these two orders is that both belong to the same physiographic unit with almost normal salinity characteristcs.

Sub - Order

The series Tolar A is also classified under the Camborthids sub-order, the characteristics of which have been mentioned earlier.

The series Tolar B however, has an ochric epipedon and therefore it has been included under the Ochrepts sub-group which means that it is an Inceptisol with an Ochric epipedon.

Gran Grupo y Subgrupo.

La serie Tolar A, clasificada en el órden Aridisol, muestra tendencia a presentar grietas por el alto contenido de arcilla, intergradándose por consiguiente corresponden al régimen de humedad ústica, clasificándose como Ustochrepts a nivel de gran grupo. Finalmente la distribución irregular del contenido de materia orgánica en los diferentes horizontes ha dado lugar para clasificar como Fluventic Ustochrepts.

La serie Tolar B., presenta las siguientes características : son Ochrepts que estan secos por 90 días acumulativos o más en la mayoría de los años, por consiguiente corresponden al régimen de humedad ústica, clasificándose como Ustochrepts a nivel de gran grupo. Finalmente la distribución irregular del contenido de materia orgánica en los diferentes horizontes ha dado lugar para clasificar como Fluventic Ustochrepts.

Consociacion castrillo .

Orden.

Estos suelos estan circunscritos a las constantes y recientes inundaciones causadas por el río Desaguadero; son de características arenosas con eflorescencias salinas. La formación de horizontes de suelos es mínima a causa de las frecuentes depositaciones del río, además de estar permanentemente húmedos, siendo clasificados dentro el órden de los entisoles.

Suborden.

Corresponden al suborden de los Psamments, que son Entisoles cuyas texturas son livianas a arenosas en toda su profundidad, no presentando otras características de importancia a este nivel.

Gran Grupo y Subgrupo.

El régimen de humedad al que estan sometidos los suelos de esta consociación es el ácuico, que implica principalmente condiciones de reducción debido a la saturación por agua freática superficial.

La duración del período en el cual el suelo está saturado no se conoce, pero es muy común que el nivel freático fluctúe con las estaciones; donde los niveles altos se presentan en épocas lluviosas y los más bajos durante las estaciones secas. Las condiciones que presentan estos suelos durante la observación del perfil demuestran características típicas para considerarlas como Typic Psammaquents.

46 B

Great Group and Sub - Group

The series Tolar A classified under the order of the Aridisol shows a tendency to the formation of cracks due to the high content of clay. Therefore this series is gradually changing into Vertisols of Ustic regime, hence it is classified as Ustertic Camborthids.

The series Tolar B has the following characteristics:

The are dry Ochrepts for 90 cumulative days or more most of the years, therefore they are classified under the Ustic moisture regime as Ustochrepts at great group level. Finally they are classified as Fluventic Ustochrepts due to the irregular distribution of the organic matter content in the different horizons.

Castrillo consociation.

Order

These soils are to be found the areas where constant floodings caused by the Rio Desaguadero have taken place. They are sandy with some saline effloresense, they are permanently wet, there is a minimal formation of horizons due to the frequent sedimentation of the river. These soils are classified under the order of the Entisols.

Sub - Order

They belong to the order of the Psamnents which in fact are entisols of a light to sandy texture in all their depth. No other relevant characteristics are found at this level.

Great Group and Sub - Group

These soils are subject to the Aquic moisture regime. It implies mainly reduction conditions due to saturation by superficial freatic water.

The period during which the soils are saturated is not unusual that the freatic level fluctuates with the seasons. The highest levels are registrated during the rainy season and the lowest during the dry season. The conditions shown by these soils during the profile observations show the typical characteristics of the Typic Psammaquents.

CONCLUSIONES

- La aplicación de la clasificación digital en el mapeo de suelos comparados con los métodos tradicionales, permite preparar mapas cualicuantitativos de suelos en lapsos de tiempos reducidos.

- Es posible llegar mediante este procesamiento, a un mapeo de suelos más detallado con relación al sistema de interpretación en imágenes.

- La utilización de las PRINTRESULTS, facilita de gran manera en la elabora - ción de mapas de suelos.

RECOMENDACIONES.

- Que para un país en vías de desarrollo de escasa información de sus recursos naturales como Bolivia, los datos LANDSAT son de innegable valor en el estudio y cuantificación de las áreas agrícolas.

- Se recomienda que es necesario realizar verificaciones de campo en dos etapas, una antes de efectuar el procesamiento digital, el cual proporciona los datos requeridos para la computación y otra inmediatamente después de haber obtenido los resultados de clasificación para su respectiva comprobación.

- Es importante que los mapas digitalizados (PRINTRESULTS), sean combinados con los mapas de suelos obtenidos mediante la interpretación visual de imágenes en los que se identifican además unidades fisiográficas que estan altamente correlacionadas con las diferentes clases de suelos.

- Es necesario que el analista edafólogo tenga la suficiente capacidad y experiencia, especialmente en la fase de proporcionar los datos a la computadora, lo cual inside lógicamente en la exactitud de los productos requeridos.

- Otros factores que deben tomarse en consideración para el procesamiento digital en levantamientos de suelos son: conocimientos específicos de fotointerpretación, geomorfología de la zona, características edafológicas locales, técnicas sobre percepción remota y las nuevas reglas de clasificación taxonómica de los suelos.

- The applicas co
methods, altitat
of time.

- Using this
opposed to

- The use of
soil maps..

- One of the
mapping re
the comput

RECOMEND

- For a develació
such as Boli
of agricultu
phases of t
required in
cation resul
images in wida
- The soil ana
work, especi
the accurate
- Other factor
mapping are
the area, loc
new regulati

CONCLUSIONS

- The application of digital clasification to soil mapping, compared with traditional methods, allows, the preparation of quali-quantitative soil maps in a shorter period of time.

- Using this approach it is possible to obtain a more detailed soil mapping level as opposed to the visual interpretation of images.

- The use of LARSYS PRINTRESULTS helps greatly in the generation of accurate soil maps..

- One of the most important factors to be considered in order to obtain optimum mapping results is to have good knowledge of the study area, to correctly train the computer.

RECOMENDATIONS

- For a developing country with a lack of information about its natural resources, such as Bolivia, LANDSAT data are valuable for quantitative evaluation of areas of agricultural potential. It is necessary to do field work during two different phases of the study: (1) before the digital processes in order to provide the required information to train the computer, and (2) immediately after the classification results have been obtained by visual interpretation of the LANDSAT images in which physiographic units are identified.

- The soil analyst should have the necessary ability and experience to carry out his work, especially when it comes to feeding the computer since this is important for the accurate outcome of the required products.

- Other factors that should be taken into account for the digital processing of soil mapping are: specific knowledge, skills on photointerpretation, geomorphology of the area, local edafologic characteristics, techniques on remote sensing and the new regulations laid down for the Taxonomic Classification of soils.

TABLA No. 4

LEYENDA DE MAPA DE SUELOS

G.P.	PAISAJE	UNIDAD FISIOGRAFICA	UNIDAD DE MAPEO	CLASIFICACION TAXONOMICA	SIMBOLOS EN EL MAPA
SERRANIA S	Serranía de Huayllamarca y Laurani S1	Colinas del terciario sedimentario, formado por areniscas rojas y blanquecinas intercalas con lutitas arenosas. Conglomerados gruesos con estratificaciones de areniscas rojas.	Consociación Huayllamarca	Lithic Ustochrepts	S1 21.474.6 Has.
	Pie de Serranía S2	Areas fuertemente onduladas S2.1	Consociación: Las Lomas	Aridic Haplustalfs	S2.1 11.832.05 Has.
		Areas ligeramente onduladas S2.2	Consociación Tola Pata	Typic Ustipsaments	S2.2 12.424.6 Has.
LLANURA LACUSTRE ALUVIAL A	Llanura Sub Reciente A1	Plano Salino A1.1	Asociación: Kolla La Cantera La Oveja Chijini	Typic Salorthids Typic Haplargids Duric Camborthids Vertic Camborthids	A1.1 51.293.35 Has.
		Planos moderadamente salinos A1.2	Asociación : Hornillos La Joya	Vertic Camborthids Ustentic Camborthids	A1.2 53.112.10 Has.
		Conexos Escasamente Salinos a normales A1.3	Asociación: Tolar A Tolar B	Ustertic Camborthids Ustentic Camborthids	A1.3 64.742.55 Has.
	Llanura Reciente A2	Planos Salinos A2.1	Consociación Castrillo	Typic Psammaquents	A2.2 957.05 Has.

C-2

TABLE 4

LEGEND OF SOILS MAP

GREAT LANDSCAPE	LANDS CAPE	PHYSIOGRAPHIC UNIT	MAPPING		

A	A1	Conexos Escasamente Salinos a normales A1.3	Asociación: Tolar A Tolar B	Ustertic Camborthids Ustentic Camborthids	A1.3 64.742.55 Has.
	Llanura Reciente A2	Planos Salinos A2.1	Consociación Castrillo	Typic Psammaquents	A2.2 957.05 Has.

C-2

TABLE 4.

LEGEND OF SOILS MAP

GREAT LANDSCAPE	LANDS CAPE	PHYSIOGRAPHIC UNIT	MAPPING		
HILLS "S"	Huayllamarca and Laurani Hills S 1	Sedimentary hills composed of red an white sandstones inter-bedded with sandy shales and coarse conglomerates with red stratified sandstones.	Huayllamarca Consociation	Lithic Ustochrepts	S 1 21.474,6 Ha
	Foot slope S 2	Strongly ondulated areas S2. 1	Las Lomas Consociation	Aridic Haplustalfs	S2. 1 11.832,05 Has
		Slightly ondulated areas S2. 2	Tola Pata Consociation	Typic Ustipsamments	S2. 2 12.424,6 Has
ALLUVIAL LACUSTRIAN A	Sub-Recent Plain A 1	Saline plains A1. 1	Kolla La Cantera La Oveja Chijini Association	Typic Salorthids Typic Haplargids Duric Camborthids Vertic Camborthids	A1. 1 51.293,35 Has
		Moderately saline plains A1. 2	Hornillos La Joya Association	Vertic Camborthids Ustentic Camborthids	A1. 2 53.112,10 Has.
		Scarcely saline plains A1. 3	Tolar A Tolar B	Ustertic Camborthids Fluventic Ustochrepts	A1. 3 64.742,55 Has.
	Recent Plain	Saline plains. A2. 1	Castrillo Consociation	Typic Psammaquents	A2. 2 957,05 Has.

APLICACIONES EN EL MAPEO DE USO ACTUAL DE LA TIERRA

Generalidades.

El presente estudio, es el resultado de la primera experiencia encaminada a determinar la utilidad del sistema de análisis por computación para el mapeo de las unidades de Uso Actual de la Tierra. Convenientemente aplicada, permite obtener información que a través de los métodos convencionales de interpretación resultan imposibles de realizar.

Objetivos.

Se trata de establecer la utilidad del uso de las técnicas de análisis en computadoras, para realizar mapas de Uso Actual de la Tierra a nivel III. Con este fin se utilizó la clasificación digital y los mapas de suelos codificados a color de los cuadrángulos de Huayllamarca y Eucaliptus (Figura 21 y 24 respectivamente).

Resultados.

Cuadrángulo de Huayllamarca (Sector Este Figura No. 21).

Se observa la siguiente relación de las clases espectrales codificadas a color con unidades de Uso Actual de la Tierra.

Realizando un análisis en los dos cuadrángulos, se observa la relación existente entre el mapa codificado a color y las unidades de Uso Actual de la Tierra, habiéndose identificado cinco unidades para el cuadrángulo de Huayllamarca y seis para Eucaliptus; existiendo además unidades mixtas (113-311), (63-113), en ambos cuadrángulos.

Metodología de trabajo.

La metodología aplicada en el presente estudio de Uso Actual de la Tierra, se basó en tres fases fundamentales que son las siguientes:

- La primera fase se abocó a la agrupación de símbolos en los mapas alfanuméricos, que constituyen los parámetros de cada unidad de Uso Actual de la Tierra, tomándose en cuenta como unidad mínima de mapeo cinco elementos de resolución (5 pixel – 2.5 hectáreas) aproximadamente.

APPLICATIONS IN THE MAPPING OF ACTUAL LAND USE

General.

The present study is the result of the first attempt to determine the utility of a computer analysis system for mapping units of actual land use.

Such a system, judiciously applied, permits information to be obtained that could not be gotten by conventional methods of interpretation.

Objectives

The attempt is made to establish the utility of the techniques of computer analysis for making maps of actual land use at level III. For this purpose, the digital classification and soils maps coded in color, of the Huayllamarca and Eucaliptus quadrangles have been used (Fig. 21 and 24, respectively).

Results

Huayllamarca quadrangle (eastern sector of Fig. 21).

Relations between spectral classes coded in color and land use types can be observed in Table 5.

Eucaliptus quadrangle (wetern sector of Fig. 24).

Relations between spectral classes coded in color and land use types can be observed in Table 6.

In analyzing the two quadrangle, the relation between the maps coded in color and the types of land use can be observed. Five distinct types have been identified in the Huayllamarca quadrangle and six on the Eucaliptus quadrangle in addition there are mixed types (such as 113-311 and 63-113) on both quadrangles.

Methodology

The methodology applied in the present study was carried out in three fundamental phases, as follows:

1.- In the first phase the alphanumeric symbols on the maps, were brouwght together into groups which formed the parameters of each type of land use, taking into account as minimmun mapping units five image resolution elements (five pixels, which equal approximately 2.5 hectares).

– Durante la segunda fase, se realizó la reducción del mapa anteriormente indicado de la escala 1:25.000 a 1:50.000, con el objeto de obtener la posición a la misma escala con las cartas topográficas existentes a fin de lograr una perfecta ubicación cartográfica para las verificaciones de campo.

– La tercera fase, consistió en efectuar la comprobación de campo de las unidades de Uso Actual de la Tierra en zonas representativas, trabajo que permitió relacionar las características de cada unidad con los tipos de suelos; habiéndose obtenido de esta manera un concepto cabal para cada unidad dentro del área de estudio.

Resultados finales.

La Tabla No. 7 presenta la relación de símbolos del mapa alfanumérico con tipos de suelos y unidades de Uso Actual de la Tierra.

2.- Durin erior
scale ner la
availa logra
tions f

3.- The 5 que
repres suelo
unit u den

In this
the stu

pa al

Final Resul

Table
the maps wi

2.- During the second phase, the maps prepared in phase 1 were reduced from a scale of 1:25.000 to 1:50.000, so that they were at the same scale as the available topographic maps and thereby determined accurate cartographic locations for verification in the field.

3.- The third phase consisted of making the field checks of the land use types in representative zones, a task that permitted the characteristics of each land use unit to be related to soil types.

In this way a precise concept of this relationship for each land use unit within the study areas was obtained.

Final Results.

Table 7 present the relations between the alphanumeric soil type symbols of the maps with units of land use.

TABLA No. 5

CODIGO DE COLOR	SIMBOLO	UNIDADES DE USO ACTUAL DE LA TIERRA
Blanco	65	Tierras Salinas
Gris claro	65	Tierras Salinas
Rosado	113	Pastizales de altura secos.
Celeste en llanura	114	Pastizales de altura secos, afectados por salinidad
Celeste en pie de serranías	113	Pastizales de altura secos.
Verde	113-311	Pastizales de altura secos y áreas con una cosecha anual.
Amarillo y café rojizo en serranías	113-63	Pastizales de altura secos y afloramientos rocosos.
Amarillo en llanura	113	Pastizales de altura secos.
Azul en serranías	63-113	Afloramientos rocosos y pastizales de altura.

TABLA No. 6
Cuadrángulo de Eucaliptus (Sector Oeste figura No. 24)

CODIGO DE COLOR	SIMBOLO	UNIDADES DE USO ACTUAL DE LA TIERRA
Blanco	65	Tierras salinas
Amarillo en llanura	113	Pastizales de altura secos
Amarillo en pié de serranías	113-311	Pastizales de altura secos y áreas de una cosecha anual.
Celeste	114	Pastizales de altura secos afectados por salinidad.
Verde	113-311	Pastizales de altura secos y áreas con una cosecha anual.
Café rojizo en llanura	62	Dunas y arenales.
Café rojizo en serranía	113	Pastizales de altura secos.
Azul claro y café rojizo en serranía	63-113	Afloramientos rocosos y pastizales de altura.
Azul obscuro en serranía	63	Afloramientos rocosos.
Azul obscuro en llanura	531	Ríos.

TABLE 5

COLOR CODE

White
Light grey
Rose
Sky blue (in pla
Sky blue (at the
Green
Yellow and red
(in mountain are
Yellow (on plai
Blue (in mount
Eucaliptus quad
Relations betwe
observed in Ta

TABLE 6

COLOR CODE

White
Yellow (on plai
Yellow (at the
Sky blue
Green
Reddish brown
Reddisk brown
Light blue and
brown (in mou
Dark blue (in
areas)
Dark blue (on

TABLE 5

COLOR CODE	LAND USE TYPES SYMBOL	DESCRIPTION
White	65	Saline lands.
Light grey	65	Saline lands.
Rose	113	High dry grazing lands.
Sky blue (in plains)	114	High dry grazing lands. affected by salinity.
Sky blue (at the foot of mountains)	113	High dry grazing lands.
Green	113-311	High dry grazing lands with some areas of anual crops.
Yellow and reddish brown (in mountain areas)	113-63	High dry grazing lands some sparsely vegetated and rockyareas
Yellow (on plains)	113	High dry drazing lands.
Blue (in mountain areas	63-113	Rocky sparsely vegetated areas with some high grazing lands.

Eucaliptus quadrangle (westerns sector of Fig. 24).
Relations between spectral classes color codes and land use types can be observed in Table 6.

TABLE 6

COLOR CODE	LAND USE TYPES SYMBOL	DESCRIPTION
White	65	Saline lands.
Yellow (on plains)	113	High dry grazing lands.
Yellow (at the foot of mountains)	113-311	High dry grazing lands with some areas of annual crops.
Sky blue	114	High dry grazing lands affected by salinity.
Green	113-311	High dry grazing lands with some areas of annual crops.
Reddish brown (on plains)	62	Dunes and other land deposits.
Reddisk brown (in mountain areas)	113	High dry grazing lands.
Light blue and reddish brown (in mountain areas)	63-113	Sparsely vegetated rocky areas with some high grazing lands.
Dark blue (in mountain areas)	63	Sparsely vegetated rocky areas
Dark blue (on plains)	531	Rivers

RELACION ENTRE SIMBOLOS ALFANUMERICOS DE TIPOS DE SUELOS Y UNIDADES USO ACTUAL DE LA TIERRA

TABLA No. 7

SIMBOLO MAPA ALFANUMERICO		SIMBOLO EN EL MAPA DE SUELOS	TIPOS DE SUELOS	SIMBOLO MAPA USO ACTUAL DE LA TIERRA	UNIDADES DE USO ACTUAL DE LA TIERRA
EUCALIP-TOS	HUAYLLA-MARCA				
ƀ	ƀ	A 1.1	Suelos extremadamente salinos en llanuras sub-reciente	65	Tierras salinas
		A 2.1	Suelos extremadamente salinos en llanura reciente	65	Tierras Salinas
	- $ Z	A 1.2	Suelos planos moderadamente salinos en llanura reciente subreciente.	114	Pastizales de altura secos efectuados por salinidad.
		S 2.2	Suelos ligeramente ondulados en pie de serranía.	113-311	Pastizales de altura secos y áreas con una cosecha anual.
I	/ .	A 1.3	Suelos ligeramente salinos en llanura subreciente	113	Pastizales de altura de secos.
$ M		Agua		531 532	Rios permanentes. Rios temporales.
0		D	Dunas	62	Dunas y arenales
Z$M	0I*	S 1	Serranías	63	Afloramientos rocosas
		S 2.1	Suelos fuertemente ondulados en pie de serranía	113-311	Pastizales de altura secos y áreas con una cosecha anual.

RELATION BETWEEN THE ALPHANUMERIC SYMBOLS OF SOILS TYPES AND TYPES OF LAND USE

TABLE 7

ALPHANUMERIC					
$ M		Agua		532	Rios temporales.
0		D	Dunas	62	Dunas y arenales

$ M		Agua		532	Rios temporales.
0		D	Dunas	62	Dunas y arenales
Z$M	0I*	S 1	Serranías	63	Afloramientos rocosas
		S 2.1	Suelos fuertemente ondulados en pie de serranía	113-311	Pastizales de altura secos y áreas con una cosecha anual.

RELATION BETWEEN THE ALPHANUMERIC SYMBOLS OF SOILS TYPES AND TYPES OF LAND USE

TABLE 7

ALPHANUMERIC MAP SYMBOL		SYMBOL ON THE SOIL MAP	SOIL TYPES	SYMBOL ON THE LAND USE MAP	LAND USE TYPE
EUCALIP-TUS	HUAYLLA-MARCA				
		A 1.1	Extremely saline soils on older plains	65	Saline lands.
ƀ	ƀ	A 2.1	Extremely saline soils on recent plains	65	Saline lands
		A. 1.2	Moderately saline soils on older plains	114	High dry grazing lands affected by salinity.
. .	– $ Z	S 2.2	Slightly undulating soils at the foot of mountains	113-311	High dry grazing lands and areas of annual crops
I	/ .	A 1.3	Slightly saline soils on older plains	113	High dry grazing lands.
S m		Water		531 532	Permanente streams. Intermittent streams.
0		D	Dunes	62	Dunes and sandy areas.
Z$M	0 I –	S 1	Mountainous Areas	63	Sparsely vegetated rocky areas.
		S 2.1	Strongly undulating	113-311	High dry grazing lands and areas of annual crops.

Desarrollo de la Leyenda de Uso Actual de la Tierra.

La Leyenda desarrollada en el presente estudio, se basa en el trabajo realizado por James R. Anderson, del Servicio Geológico de los Estados Unidos, siendo aplicable en sus niveles más generalizados (Nivel I y II) en Bolivia.

La leyenda consta de 9 unidades básicas de clasificación de Uso Actual de la Tierra, que se enumeran a continuación:

1. Tierras con pastizales
2. Tierras con bosque
3. Tierras cultivadas
4. Tierras húmedas
5. Agua
6. Tierras eriales,
7. Nieve y hielo permanente
8. Tundra
9. Area urbana

Descripción de las Unidades de Uso Actual de la Tierra

La Cobertura y Uso de la Tierra en los cuadrángulos de Eucaliptus y Huayllamarca se halla formada por las siguientes unidades

1 Tierras con pastizales - Nivel I

Areas donde predominan la vegetación natural compuesta por gramíneas y otras especies forrájeras; su clasificación está de acuerdo a la altitud con respecto al nivel del mar.

1 1 Pastizales de altura - Nivel II

Desarrolladas a más de 3.800 m.s.n.m., dentro la cuenca endorreica del Altiplano, su subdivisión se debe a las condiciones de humedad edáficas.

1 1 3 Pastizales de altura secos - Nivel III

Para la mejor comprensión en la descripción de esta unidad, se tomó en cuenta características climáticas, fisiográficas, edáficas y geológicas bién definidas.

Development o

The legend de abajo re
Anderson of t , siendo
most generalize
in Bolivia.

so Actua

The legend
follows:

1. Gra
2. For
3. Cul
4. Wet
5. Wat
6. Bar
7. Per
8. Tur
9. Urb

Description of t

The land c
composed of th ptus y

1. Grazing la

Areas whe
other forag
amíneas

Its classifi con res

11. High altitu

Found at
drainage c orreica
icas.

113. High dry g

For a bett
well-defin se tomó
were inclu ógicas b

Development of the actual land use lengend

The legend developed in the present study is based on the work done by James R. Anderson of the U.S. Geological Survey, and others, and is being applied in its most generalized levels (Levels I and II) and occasionally in more detail (Level III), in Bolivia.

The legend consists of nine basic classification types of actual land use, as follows:

1. Grazing lands.
2. Forest lands.
3. Cultivated lands.
4. Wet lands.
5. Water.
6. Barren lands.
7. Permanent ice and snow.
8. Tundra.
9. Urban areas.

Description of the Actual Land Use Types.

The land cover and land use an the Eucaliptus and Huayllamarca quadrangles is composed of the following types:

1. Grazing lands - Level I.

Areas where the dominant natural vegetation is composed of gramineous and other forage species.

Its classification is in accord with its altitude above sea level.

11. High altitude grazing lands - Level II.

Found at more than 3.800 meters above sea level in the basin of interior drainage of the Altiplano; its subdivision is due to conditions of soil moisture.

113. High dry grazing lands. Level III.

For a better understanding of the description of this type unit, sondieration of well-defined climatic, physiographic, edaphic, and geological characteristics, were included.

Estos pastizales se hallan desarrollados en una topografía plana a ligeramente ondulada, formada sobre sedimentos cuaternarios y terciarios. El clima es frío semiseco, los parámetros que lo determinan están dados por una precipitación anual menor de 400 mm., la temperatura media anual es de 10ºC y alturas comprendidas entre 3.810 a 4.000 m.s.n.m. Los suelos son poco desarrollados, textura areno-arcillosa, corresponden al orden de los Aridisoles e Inceptisoles.

La vegetación presenta asociaciones naturales de Thola (Lepidophyllum quadrangulare), variedades de Festuca (paja brava) y otras especies arbustivas de bajo porte.

La falta de orientación en el uso adecuado de estos pastos naturales, facilita la acción erosiva del viento y aguas pluviales, que dan lugar a la formación de cárcavas.

Estos suelos presentan limitaciones para la agricultura a causa de las heladas que azotan las partes planas y bajas con cultivos de papa amarga, cebada quínua, etc.

1 1 4 Pastizales de altura afectados por salinidad - Nivel III

Estos pastizales ocupan áreas planas a ligeramente cóncavas, con salinidad visible superficialmente.

Los suelos son en general de escaso desarrollo, mal drenados, moderadamente salinos y de textura arcillo-arenosa, corresponden al orden de los Aridisoles con características de Vertisoles y Entisoles integrando a Aridisoles.

La vegetación desarrollada se halla constituída por comunidades vegetales de aspecto almohadillado, yareta (Azorella Glabra) intercalada con asociaciones naturales en menor densidad que la unidad anterior de Thola (Lepidophyllum quadrangulare).

Estos pastos son escasamente aprovechados en pastoreo por el ganado ovino, por lo que constituye la única actividad desarrolla en esta unidad.

113-311 Pastizales de altura secos intercalados con áreas de una cosecha anual.

Se desarrollan en áreas con una topografía ondulada, con limitaciones para el desarrollo de la agricultura donde existen bajas temperaturas, pedregosidad, pendientes (20o/o-40 %) y la intensa erosión debido al sobre pastoréo.

These grazing lands are found developed on a flat to slightly undulating topography, formed on tertiary and quaternary sediments The climate is semiarid an cold, the annual precipitation averaging less than 400 mm. and the average annual temperature less than 10°C. Altitudes are between 3.810 and 4.000 meters. The soils are poorly developed and their texture is sandy clay, corresponding to the orders of Aridisols and Inceptisols.

The vegetation consists of natural associations of thola (Lepidophyllum quadrangulare), verieties of festuce (straw), and other low strubby species.

The poor patterns of use these natural pastures accentuates the erosive action of wind and water, which result in the creation of gullies and badlands.

These soils are of limited agricultural use because of the frosts that hit the flat and low areas where small fields of potatoes, barley, quinoa, etc. are grown.

114. High grazing lands affected by salinity - Level III.

These grazing lands cover lands that range from flat to broad shallow basins, with superficially visible salinity.

The soils are in general poorly developed, poorly drained. Moderately saline, and have a clayey-sandy texture, corresponding to the order or Aridisols, with added claracteristics of vertisols and entisols.

The natural vegetation is composed of cushiony-looking plant communities, yareta (Azorella Glabra) interspersed with natural associations of less density of thola (lepidophyllum quadrangulare).

These pastures are sparsely used for grazing sheep, which is the only activity on this land cover type.

113–311. High dry grazing lands interpersed with areas of annual crops.

This mixed type is developed in areas with an undulating topography, with agricultural development limits where there are low temperatures, stoniness, steep slopes (20-40 %) and intense erosion due to overgrazing.

Los productos agrícolas que tienen mayor ocurrencia en esta unidad, están representados por gran variedad de especies de papa, cebada, quínua, trigo, avena, oca, papaliza, etc.

El problema ocasionado por la falta de una adecuada dirección técnica sobre uso y manejo de suelos, hace que en estas áreas se realicen las prácticas de rotación de tierras.

5. Agua - Nivel I.

Ocupan extensiones reducidas, en esta categoría se incluyen lagos, lagunas, ríos y reservorios.

53 Ríos - Nivel II

Los principales ríos existentes en la zona son los ríos Desaguadero y Chuquichambi, que constituyen parte de la cuenca endorreica del Altiplano. Las subcategorías al nivel III incluyen ríos permanentes (531) y ríos temporales (532).

6. Tierras Eriales - Nivel I.

Son tierras no aptas para la agricultura, cubiertas algunas veces con pocas especies nativas. Las subcategorías al nivel II incluyen:

62 Arenales - Nivel II

A-621 Playas y otros arenales planos - Nivel III

Areas cubiertas de arena, localizados en las cercanías de los ríos intermitentes de la llanura aluvial subreciente.

B-62 Dunas - Nivel III

Se hallan ubicadas localmente cerca del río Desaguadero; en general son dunas jóvenes con escasa vegetación de asociación de Thola (Lepidophyllum Quaquadrangulare).

63-113 Zonas Rocosas y Pastizales de altura secos - Nivel II y III.

Esta unidad se caracteriza por su posición elevada y topografía abrupta, intercalados con pastizales de altura secos.

Las principales limitaciones para la agricultura constituyen el clima, pendientes abruptas y pedregosidad.

The agricultural products which are found most often in this type include a great variety of species of potatos, barley, quinua, wheat, rye, oca, papaliza, etc.

The lack of adequate technical direction in land use in these areas results in a destructive practice of field rotation.

5. **Water - Level I.**

Water occupies a reduced extent in this area, and includes lakes, ponds, rivers, and reservoirs.

5 3 Rivers - Level II.

The principal rivers in this zone are the Desaguadero and Chuquichambi, which are part of the interior drainage basin of the Altiplano.

The subcategories at level III include permanent streams (531) and intermittent streams (532).

6. **Barren Lands - Level I.**

These are lands not suitable for agriculture. Sometimes they are covered with few native species of vegetation.

The subcategories at level II include:

62 Sandy Areas – Level II.

621, Playas and other flat sandy areas - Level III

Areas covered with sand, localized in the vicinity of intermittens streams on the subrecent alluvial plains.

622. Dunes - Level III.

They are found locally near the Desaguadero River. In general they are young dunes with a sparse vegetation of associations of thola (Lepidophyllum quadrandulare).

63–113 Rocky zones with high dry grazing lands - Level II and III.

This unit is characterized by its high altitude and steep topography, interspersed with high dry pastures.

The principal limitations to agriculture are the climate, steep slopes, and stoniness.

La principal actividad de esta unidad es el pastoreo extensivo de ovinos o auquénidos, además de la extracción de rocas.

65. Tierras Salinas - Nivel II

Se presentan en áreas planas a ligeramente cóncavas de la llanura, formando en la superficie acumulaciones de sales minerales con comunidades vegetales en menor densidad de Khota (Azorella spp), que es muy resistente a la salinidad.

9. Areas Urbanas - Nivel I.

Fueron identificadas en base a los mapas topográficos del Instituto Geográfico Militar (I.G.M.) en escala 1:50.000, que fué imposible identificar en el mapeo digital, debido a que estas áreas urbanas son pequeñas comunidades.

Las subcategorías al nivel I: incluye, ciudad (91) y pueblo (92).

extensivo de ovinos o

s de la llanura, forman-
on comunidades vegeta-
es muy resistente a la

el Instituto Geográfico
ear en el mapeo digital,

).

The principal activities in this type of land cover are the extensive grazing of sheep and llamas and the quarrying of rock.

65. Saline lands - Level II.

They are found in flat lands or broad shallow basins of the plains Forming accumulations of mineral salts on the surface. Low density plant communities of Khota (Azorella app), which is very resistant to salinity are found.

9. Urban Areas - Level I.

They were identified on the basis of the topographic maps of the Instituto Geográfico Militar (IGM), scale 1:50.000. They were impossible to identify on the digital (computer-prepared) map, because these areas are very small settlements. The subcategories at Level I include city (91) and town (92).

CONCLUSIONES

Se ha llegado a las siguientes conclusiones generales y específicas que tienen incidencia en los estudios de Uso Actual de la Tierra.

- La aplicación de la clasificación digital para el mapeo de Uso Actual de la Tierra, permite la separación de unidades a niveles más específicos, (Nivel III) en lapsos de tiempo menor.

- Una correcta clasificación de datos en la computadora, incide en forma positiva en la exactitud de los productos finales.

- La comparación de unidades de Uso Actual de la Tierra, con tipos de suelos y los colores del mapa codificado guardan estrecha relación.

- Los tipos de suelo en relación con la cobertura y uso de la tierra demuestran que el elemento vegetación, es un factor positivo para la clasificación de suelos.

- Las agrupaciones de las unidades de resolución (pixels), permiten realizar estudios de Uso Actual de la Tierra a diferentes niveles, constituyendo además parámetros para clasificación de suelos.

RECOMENDACIONES.

Selección de áreas más representativas en el campo antes de la realización del procesamiento digital, para una mayor exactitud en los productos finales.

Conformar equipos multidisciplinarios que efectúen estudios integrados de mayor detalle, aplicando las técnicas de computación electrónica.

Realizar una evaluación de esta moderna metodología, con los sistemas tradicionales de interpretación visual de imágenes.

CONCLUSIONS

The following general and specific conclusions have been reached; they are related to the studies of actual land use.

- The application of digital classification for mapping land use permits the separation of units at more specific levels (Level III) in less time.

- A correct classification of data in the computer has a positive effect on the accuracy of the final products.

- Comparison of land use units with types of soils as represented by the colors of the coded map show a clase relation.

- Soils types in relation to land cover and land use demonstrate that vegetation is a positive factor in soils classification.

- The groupings of image resolution elements (pixels) permit studies of land use .at made at different levels, thereby forming parameters for the classification of soils.

RECOMMENDATIONS

Select more representative areas in the field before digital computer processing is carried out in order to have more precision in the final products.

Form multidisciplinary teams that can make more detailed integrated studies, applying electronic computer techniques.

Make an evaluation of this modern methodology in comparison with the traditional system of visual image interpretation.

DEFINICIONES DE LA LEYENDA DE COBERTURA

Y USO ACTUAL DE LA TIERRA

FOLDOUT FRAME 1

1.- Tierras con Pastos y Arbustos

Areas naturales o influenciadas por el hombre, donde predominan gramíneas y otras especies herbáceas forrajeras, incluye los pastizales de tierras altas (Altiplano), tierras de alturas intermedias y tierras bajas (sabanas y praderas).

2.- TIERRAS CON BOSQUES

Tierras cubiertas con bosques naturales y/o artificiales, que proporcionan productos forestales y que cumplen funciones intangibles para la conservación, investigación y protección del medio ambiente.

3.- TIERRAS CULTIVADAS

Areas comunmente empleadas en agricultura, incluye cultivos, plantaciones, huertas, tierras en descanso y/o barbecho.

4.- TIERRAS HUMEDAS Y ANEGADAS

Comprenden áreas húmedas y/o cubiertas por agua temporal o permanente con deficiencia en drenaje, generalmente con vegetación hidrolítica (curiches, bañador y bajios).

5.- CUERPOS DE AGUA

Cuerpos de agua naturales o artificiales; incluye lagos, lagunas, ríos y reservorios.

6.- TIERRAS ERIALES

Tierras muy limitadas o inaptas para agricultura, cubiertas algunas veces con pocas especies vegetales nativas, sin embargo pueden tener otros usos.

7.- NIEVE Y HIELO PERMANENTE

Acumulaciones naturales de nieve en la alta montaña, que por razones de temperatura y presión se transforman en hielo permanente.

8.- RASGOS CULTURALES

Corresponde a todas las manifestaciones construidas por la actividad humana, excluyendo cultivos y reservorios.

DISTRIBUCION CORRELATIVA DE IMAGENES

1.- Laguna Mandioré
2.- Mutún
3.- San Matías
4.- Puerto Quijarro
5.- Tucavaca
6.- Puerto Busch
7.- Sierra Aguapei
8.- Norte Roboré
9.- Roboré
10.- Cerro San Miguel
11.- Nacientes Río Verde
12.- San Ignacio
13.- Lago Concepción
14.- Izozog
15.- Fortín Mendoza
16.- Cañada Oruro
17.- Río Guaporé
18.- San Simón
19.- Concepción
20.- Santa Cruz
21.- Cabezas
22.- Camiri
23.- Villamontes
34.- Río Chapare
35.- Cochabamba
36.- Sucre
37.- Potosí
38.- Tupiza
39.- Laguna Arenal
40.- Guayaramerín
41.- Riberalta
42.- Rogaguado
43.- San Borja
44.- Covendo
45.- Oruro
46.- Lago Poopó
47.- Salar de Uyuni
48.- Laguna Colorada
49.- Salar de Atacama
50.- Río Acre
51.- Madre de Dios
52.- Río Madidi
53.- Rurrenabaque
54.- La Paz
55.- Desaguadero
56.- Salar de Coipasa

POLIGONO FRANCO 2

REPRODUCIBILITY OF THE ORIGINAL PAGE IS POOR

11.- Nacientes Río Verde
12.- San Ignacio
13.- Lago Concepción
14.- Izozog
15.- Fortín Mendoza
16.- Cañada Oruro
17.- Río Guaporé
18.- San Simón
19.- Concepción
20.- Santa Cruz
21.- Cabezas
22.- Camiri
23.- Villamontes
24.- Bermejo
25.- Versalles
26.- Perseverancia
27.- Ascención
28.- Buena Vista
29.- Vallegrande
30.- Monteagudo
31.- Tarija
32.- Magdalena
33.- Trinidad

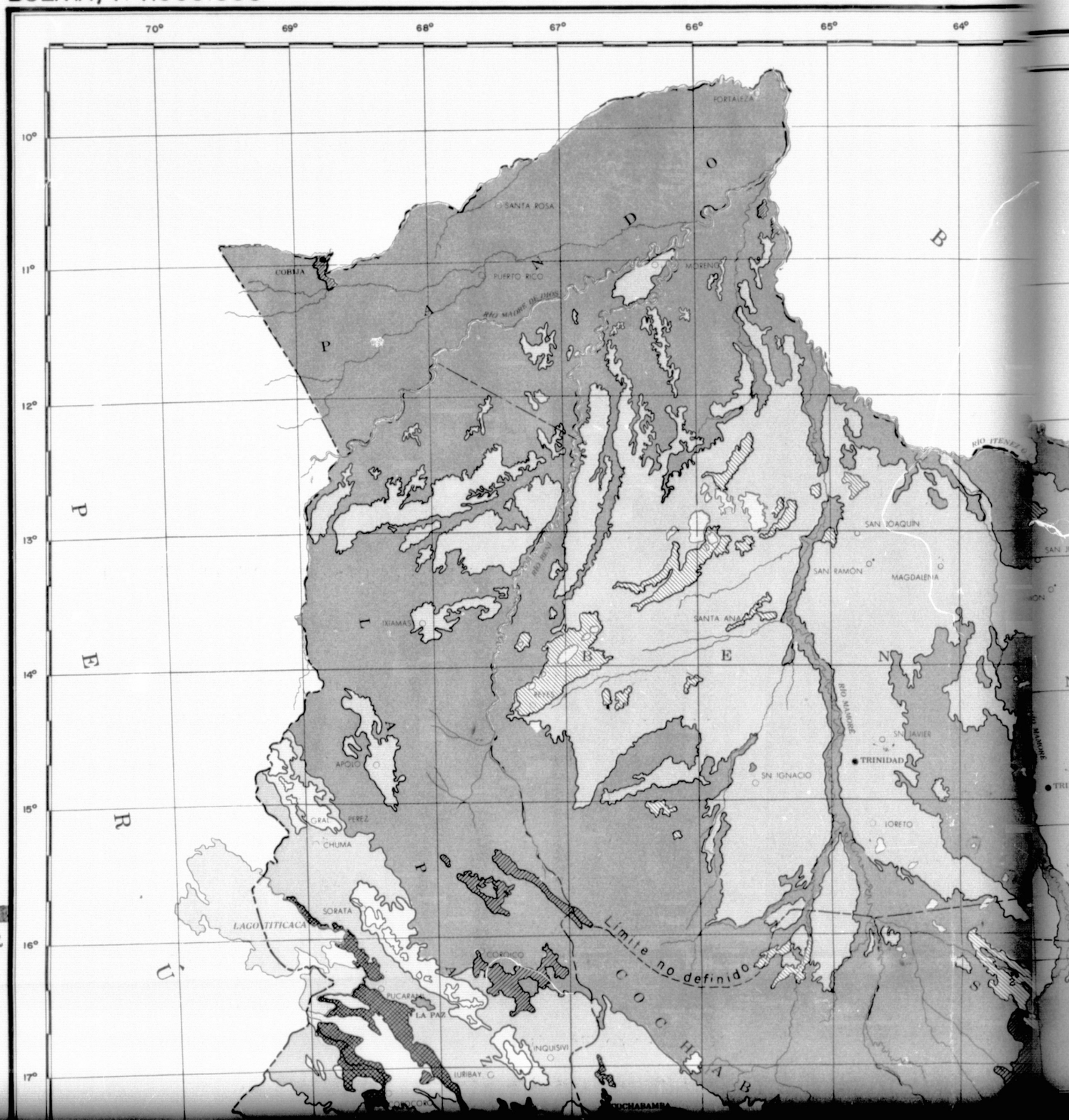
44.- Covendo
45.- Oruro
46.- Lago Poopó
47.- Salar de Uyuni
48.- Laguna Colorada
49.- Salar de Atacama
50.- Río Acre
51.- Madre de Dios
52.- Río Madidi
53.- Rurrenabaque
54.- La Paz
55.- Desaguadero
56.- Salar de Coipasa
57.- Salar de Empexa
58.- Río Abuná
59.- Cobija
60.- Río Heath
61.- Apolo
62.- Lago Titicaca
63.- Charaña
64.- Payachata
65.- Bolpebra

FOLDOUT FRAME

FOLDOUT FRAME 1

MAPA DE COBERTURA Y USO ACTO

BOLIVIA, 1:4.000.000



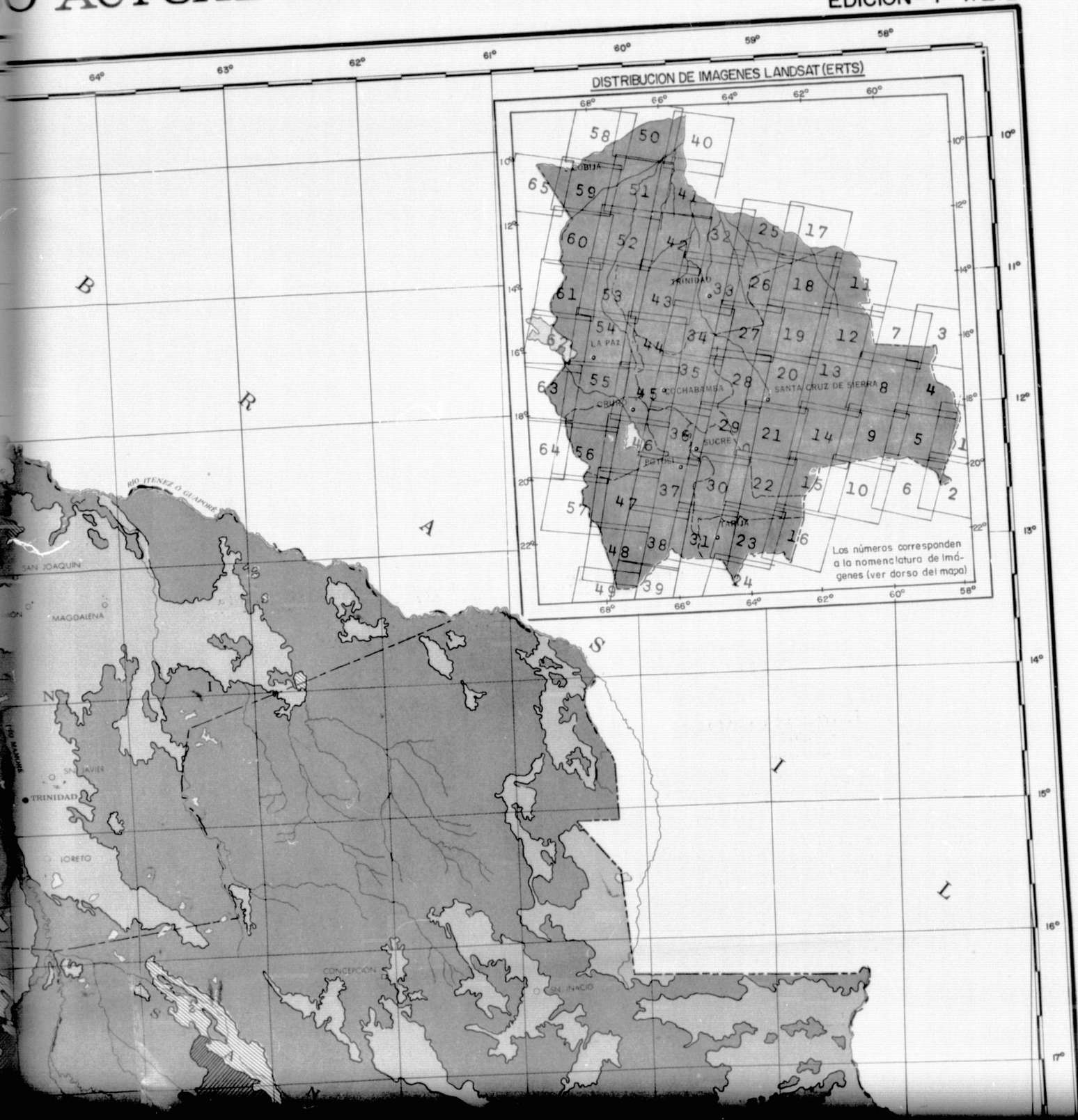
CIBILITY OF T
L PAGE IS POOR

FOLDOUT FRAME 2

REPRODUCIBILITY OF THE
ORIGINAL PAGE IS POOR

O ACTUAL DE LA TIERRA, BOLIVIA

EDICION-1-P.E.B



REPRODUCIBILITY OF T
ORIGINAL PAGE IS POOR

FOLDOUT FRAME 3

EDICION - 1 - P.E.B. (PRELIMINAR)

LEYENDA DE COBERTURA Y USO ACTUAL DE LA TIERRA

NIVEL UNO (1) DE INFORMACION

1 Tierras con Pastos y Arbustos

2 Tierras con Bosques

Tierras Cultivadas

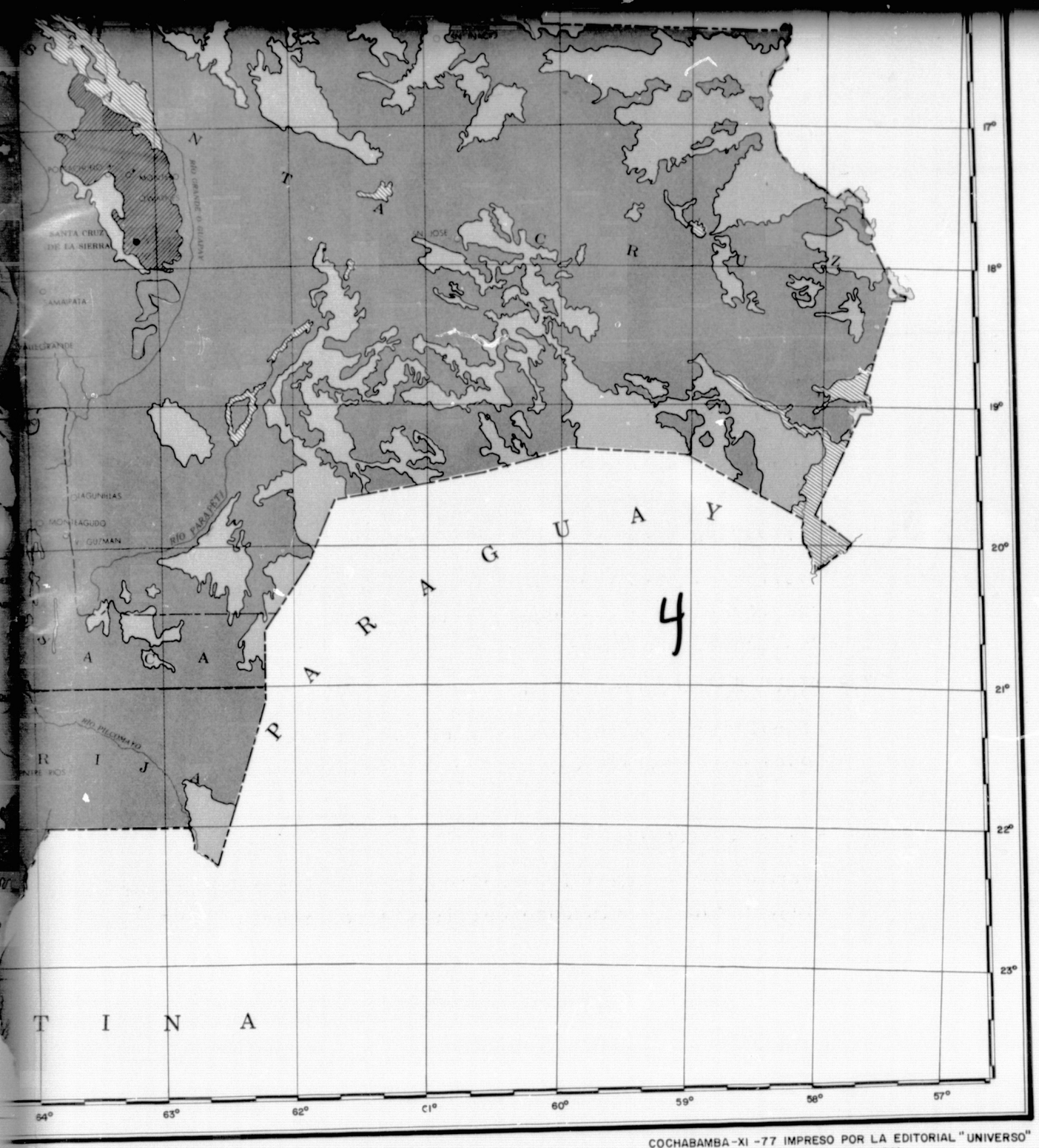
PROGRAMA DEL SATELITE TERRESTRE DE RECURSOS NATURALES

ALIANZA PARA EL DESARROLLO

400 SIGNO

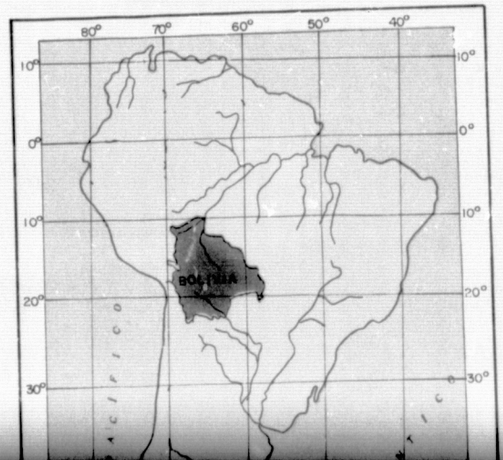
PROYEC Nacion

Depar



COCHABAMBA-XI-77 IMPRESO POR LA EDITORIAL "UNIVERSO"

MAPA DE UBICACION



Escala 1:4.000.000

0 100 200 Kilómetros

ON CONICA CONFORME DE LAMBERT

Meridiano Central 64°
Paralelos Comunes 12°y21°

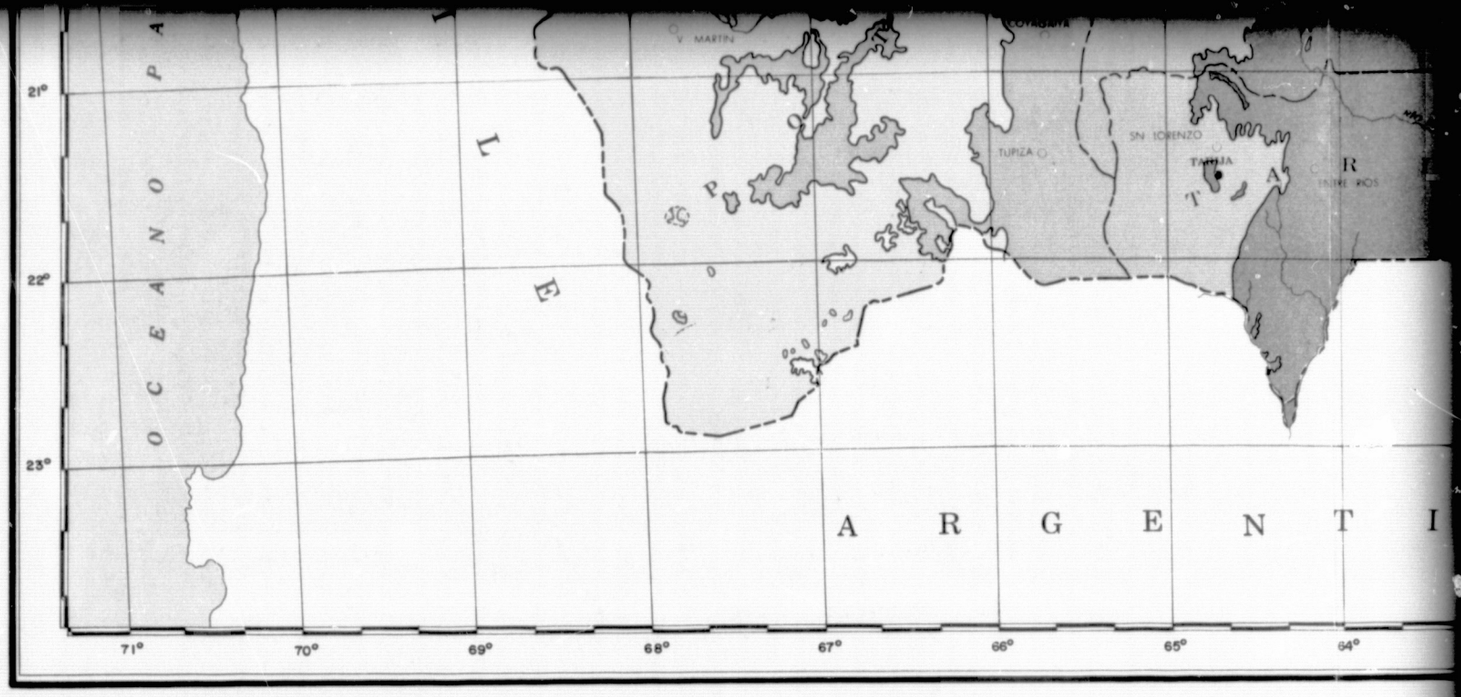
EROS EARTH RESOURCES OBSERVATION SYSTEMS PROGRAM
In cooperation with NASA and other agencies

SIGNOS CONVENCIONALES

Nacional

Departamental

SE SOLICITA A LOS LECTORES QUE ENCUENTREN ERRORES U OMISIONES EN ESTE MAPA, MARCAR LAS CORRECCIONES EN EL MISMO Y ENVIARLO AL DIRECTOR DEL PROGRAMA ERTS, LA PAZ - BOLIVIA



EDICION - 1 - P.E.B. (PRELIMINAR)

LEYENDA DE COBERTURA Y USO ACTUAL DE LA TIERRA

NIVEL UNO (1) DE INFORMACION

1	Tierras con Pastos y Arbustos
2	Tierras con Bosques
3	Tierras Cultivadas
4	Tierras Húmedas y Anegadas
5	Cuerpos de Agua
6	Tierras Eriales
7	Nieve y Hielo Permanente

Referencia Cartográfica Básica de la reducción del mapa 1:1.000.000 del Instituto Geográfico Militar.

LA DELINEACION DE FRONTERAS INTERNACIONALES DEL PRESENTE MAPA NO DEBE CONSIDERARSE AUTORITARIA

Escala 1:
100 50 0

PROYECCION CONICA C
Meridiano C
Paralelos Con

SIGNOS CONV

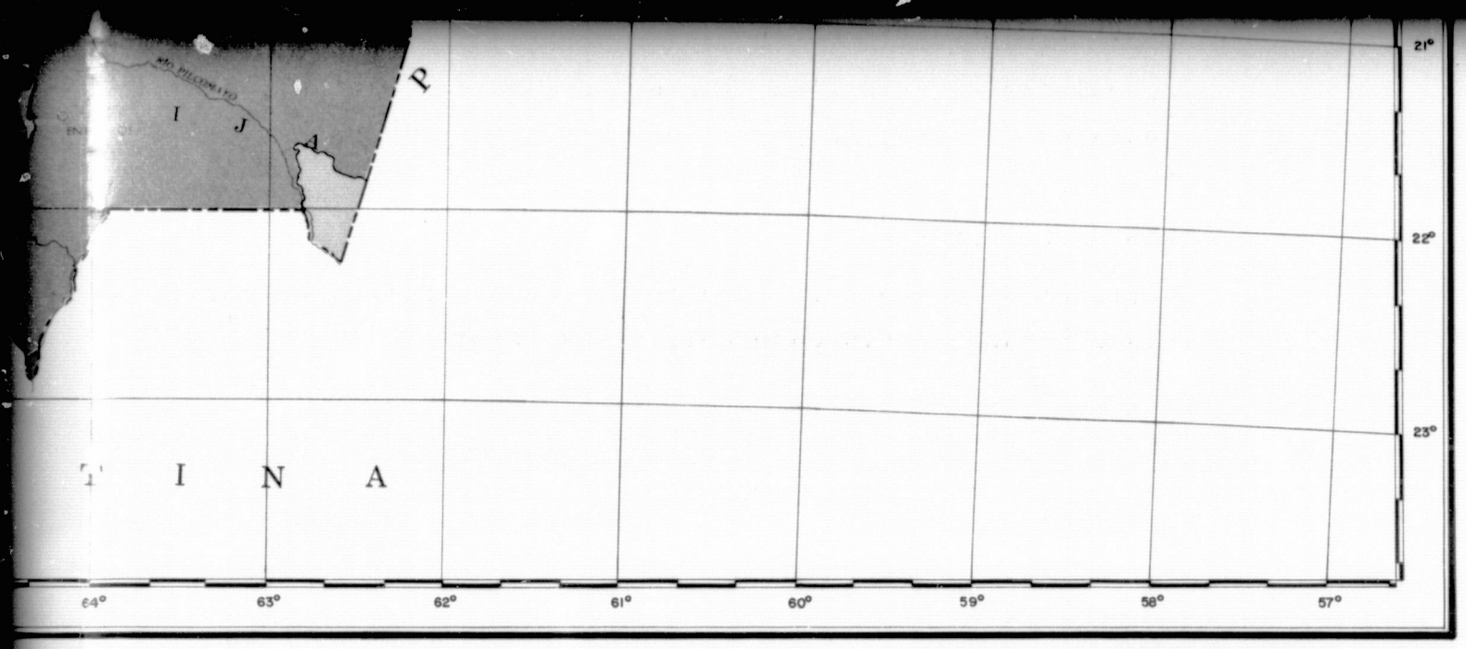
Límite Nacional
Límite Departamental
Sede de Gobierno
Capital de Departam
Capital de Sección
Rios perennes

Preparado por el Programa del Satélite Tecnológico de Recursos Naturales (ERTS) La Paz - Bolivia. Estractado del Mapa de Cobertura y Uso Actual de la Tierra, Escala 1:1000.000. Elaborado en 1.977 en base a fotointerpretación de Imágenes LANDSAT M.S.S. y comprobación de campo.

ES PROPIEDAD INTELECTUAL

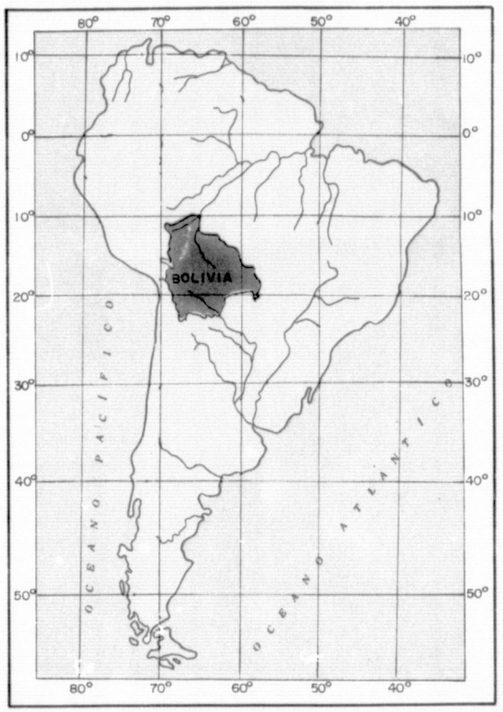
FOLDOUT FRAME 5

USO ACTUAL DE LA TIERRA BOLIVIA 1:50.000 *EDICION 1 P.E.B*



COCHABAMBA-XI -77 IMPRESO POR LA EDITORIAL "UNIVERSO"

MAPA DE UBICACION



Escala 1:4.000.000

0 100 200 Kilómetros

CION CONICA CONFORME DE LAMBERT

Meridiano Central 64°
Paralelos Comunes 12°y21°

EROS
EARTH RESOURCES OBSERVATION SYSTEMS PROGRAM
In cooperation with NASA and other agencies

SIGNOS CONVENCIONALES

e Nacional
e Departamental
de Gobierno
al de Departamento
al de Sección
perennes

SE SOLICITA A LOS LECTORES QUE ENCUENTREN ERRORES U OMISIONES EN ESTE MAPA, MARCAR LAS CORRECCIONES EN EL MISMO Y ENVIARLO AL DIRECTOR DEL PROGRAMA ERTS, LA PAZ - BOLIVIA ESTOS MAPAS SERAN DEVUELTOS O SUSTITUIDOS, SI ASI SE DESEA.

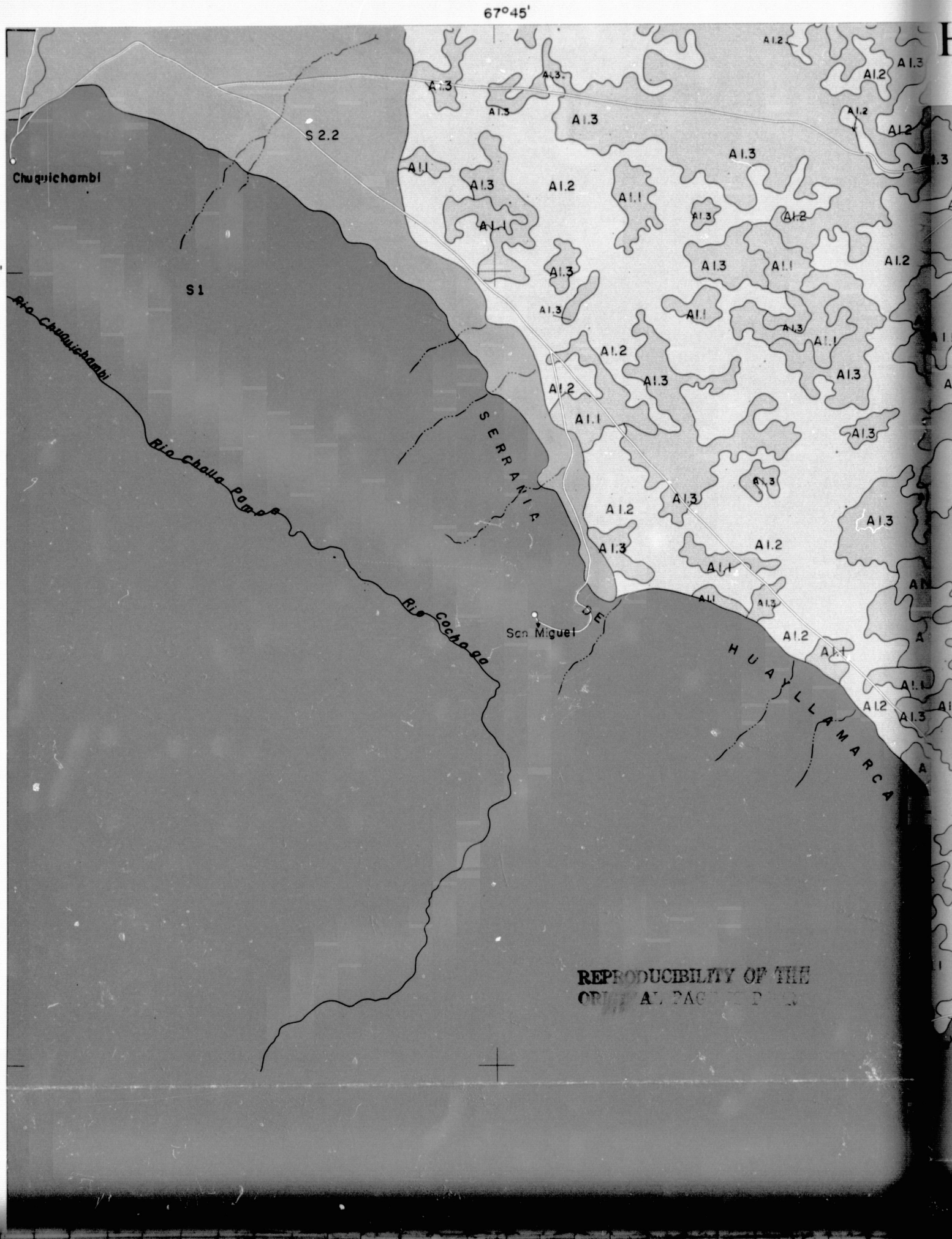
PROGRAMA ERTS-BOLIVIA, CASILLA 2729

PIEDAD INTELECTUAL DEL PROGRAMA "ERTS" SERVICIO GEOLOGICO DE BOLIVIA (GEOBOL) PROHIBIDA SU REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL

FOLDOUT FRAME

FOLDOUT FRAME

ESTUDIO SEMIDETALLADO DE SUELOS - BOLIVIA 1:50.000 EDICION 1-P.E.B.



REPRODUCIBILITY OF THE
ORIGINAL PAGE IS POOR

FOLDOUT FRAME 2

HUAYLLAMARCA SUR

REPRODUCIBILITY OF THE
ORIGINAL

FOLDOU

67°40'

67°35'

SUR

REPRODUCIBILITY OF THE
ORIGINAL

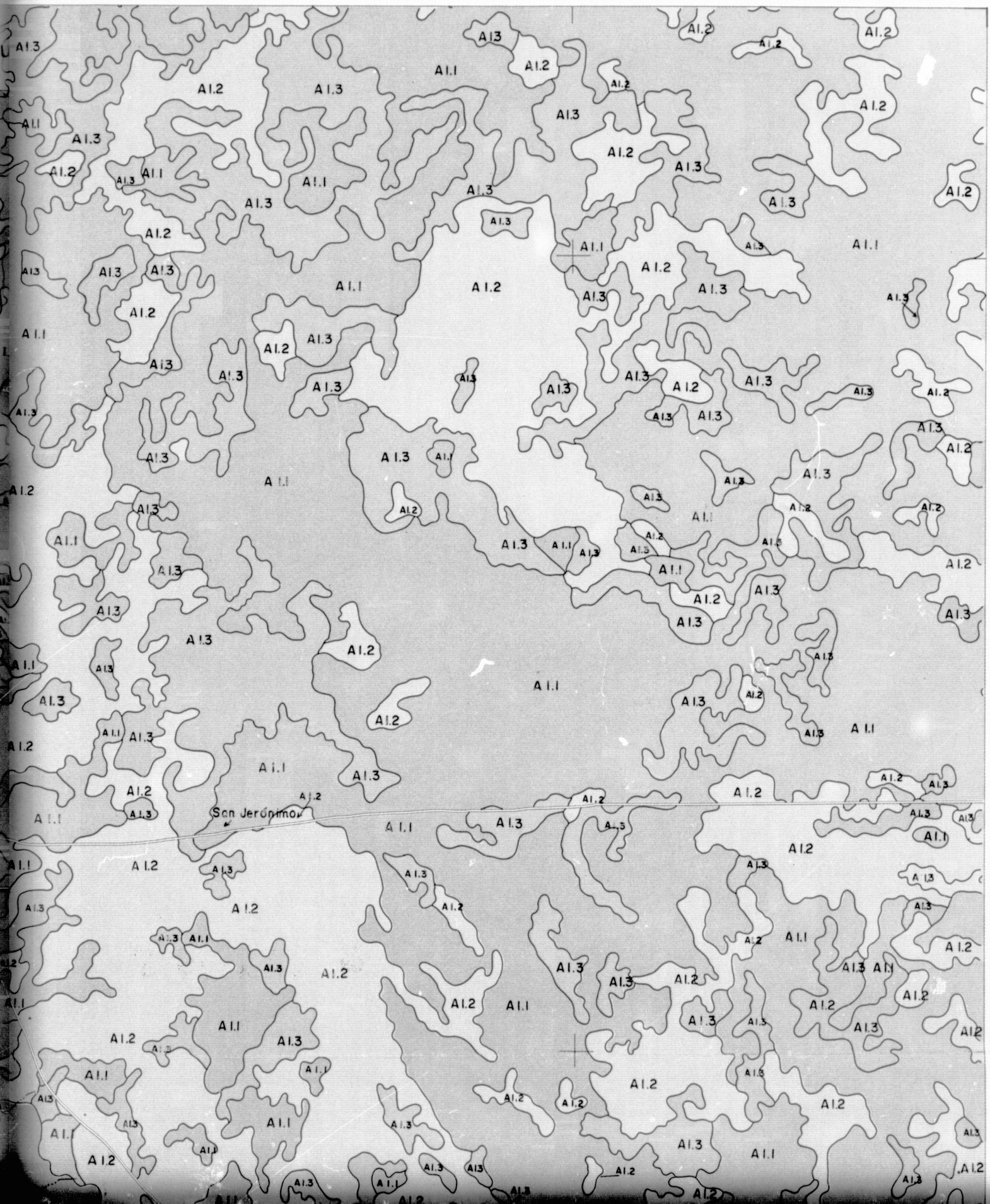
FOLDOUT FRAME 3

MAPA DIGITAL
EXPERIMENTAL

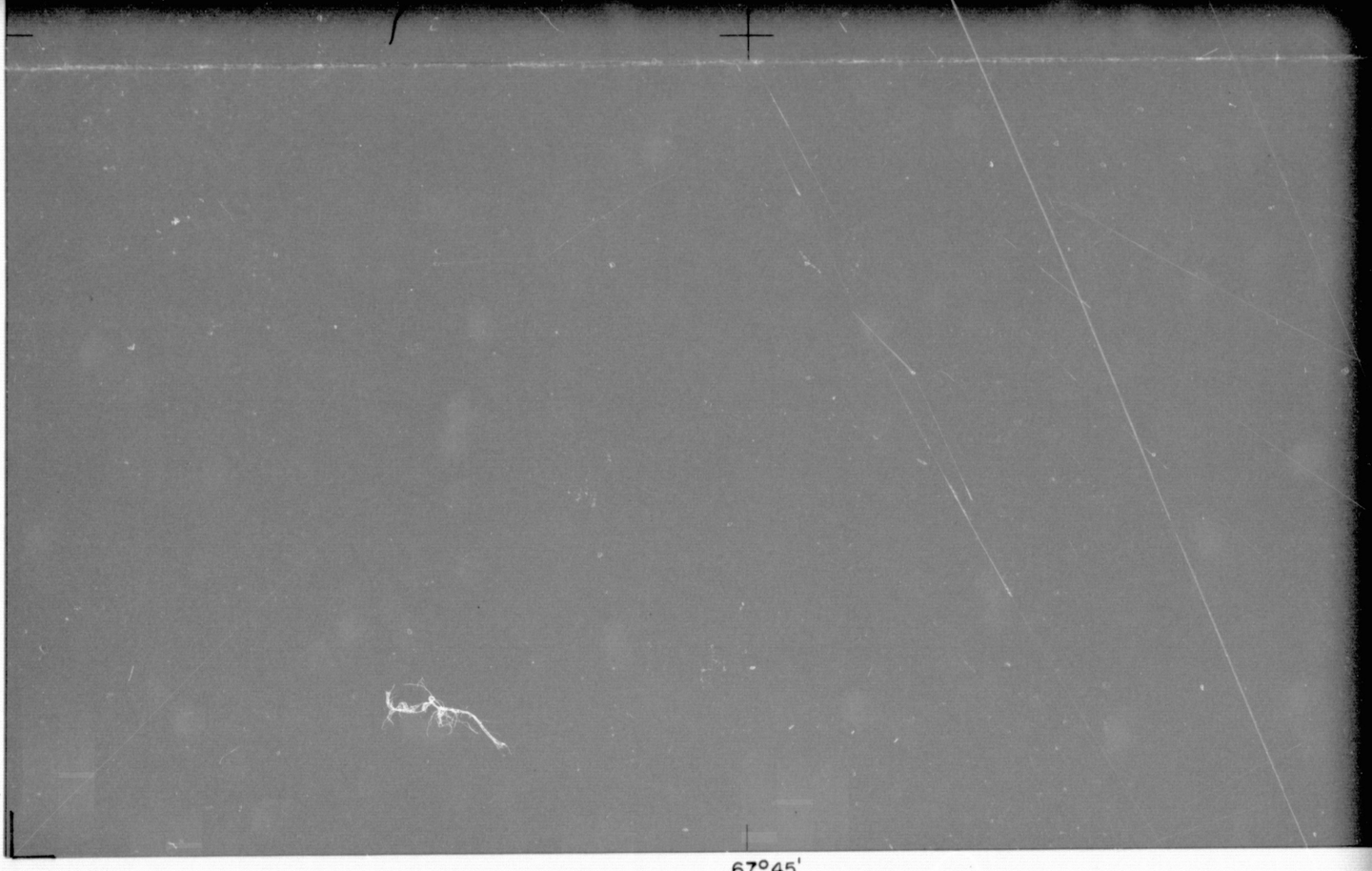
67°35'

17°55'

18°00'



18°00'



67°45'

EDICION 1-P.E.B.

SE SOLICITA A LOS LECTORES QUE ENCUENTREN ERRORES U OMISIONES EN ESTE MAPA, MARCAR LAS CORRECCIONES EN EL MISMO Y ENVIARLO AL DIRECTOR DEL PROGRAMA ERTS, CASILLA 2729 LA PAZ-BOLIVIA. ESTOS MAPAS SERAN DEVUELTOS O SUBSTITUIDOS SI ASI SE DESEA

REPRODUCIBILITY OF T

LEYENDA, SUELOS

GRAN PAISAJE	PAISAJE	UNIDAD FISIOGRAFICA	UNIDAD DE MAPEO	CLASIFICACION TAXONOMICA	SIMBOL EN EL MA
SERRANIA S	Serranía de Huayllamarca y Laurani S 1	Colinas del Terciario Sedimentario, formado por arenis-cas rojas y blanquesinas intercaladas con lutitas areno - sas. Conglomerados gruesos con estratificaciones de areniscas rojas.	Consociación: Huayllamarca	Lithic Ustochrepts	S 1
	Pie de Serranía S 2	Zonas fuertemente onduladas S 2.1	Consociación Las Lomas	Aridic Haplustalfs	S 2.1
		Zonas fuertemente onduladas S 2.2	Consociación: Tola Pata	Tipic Ustipsamments	S 2.2
LLANURA LACUSTRE ALUVIAL A	Llanura Sub-reciente A 1	Planos Salinos A 1.1	Asociación: Kolla La Cantera La Oveja Chijini	Tipic Salorthids Tipic Natrargids Duric Camborthids Vertic Camborthids	A 1.1
		Planos Moderadamente Salinos	Asociación: Hornillos La Joya	Vertic Camborthids Ustenric Camporthids	A 1.2
		Convexos Escasamente Salinosos a Normales A 1.3	Asociación: Tolar A Tolar B	Ustentic Camborthids Fluventic Ustochrepts	A 1.3
	Llanura Reciente A 2	Planos Salinos A 2.1	Consociación: Castrillo	Tipic Psammaquents	A 2.1

FOLDOUT FRAME 4

114 114 65 17°30

Escala 1:50,000

1000 500 0 1000 2000 3000 4000 Metros

1 ½ 0 1 2 3 M

EPRODUCIBILITY OF THE

CLASIFICACION TAXONOMICA	SIMBOLO EN EL MAPA
hic Ustochrepts	S 1
idic Haplustalfs	S 2.1
ic Ustipsamments	S 2.2
ic Salorthids ic Natrargids ic Camborthids rtic Camborthids	A 1.1
rtic Camborthids enric Camborthids	A 1.2
entic Camborthids iventic Ustochrepts	A 1.3
ic Psammaquents	A 2.1

PROYECCION TRANSVERSA DE MERCATOR

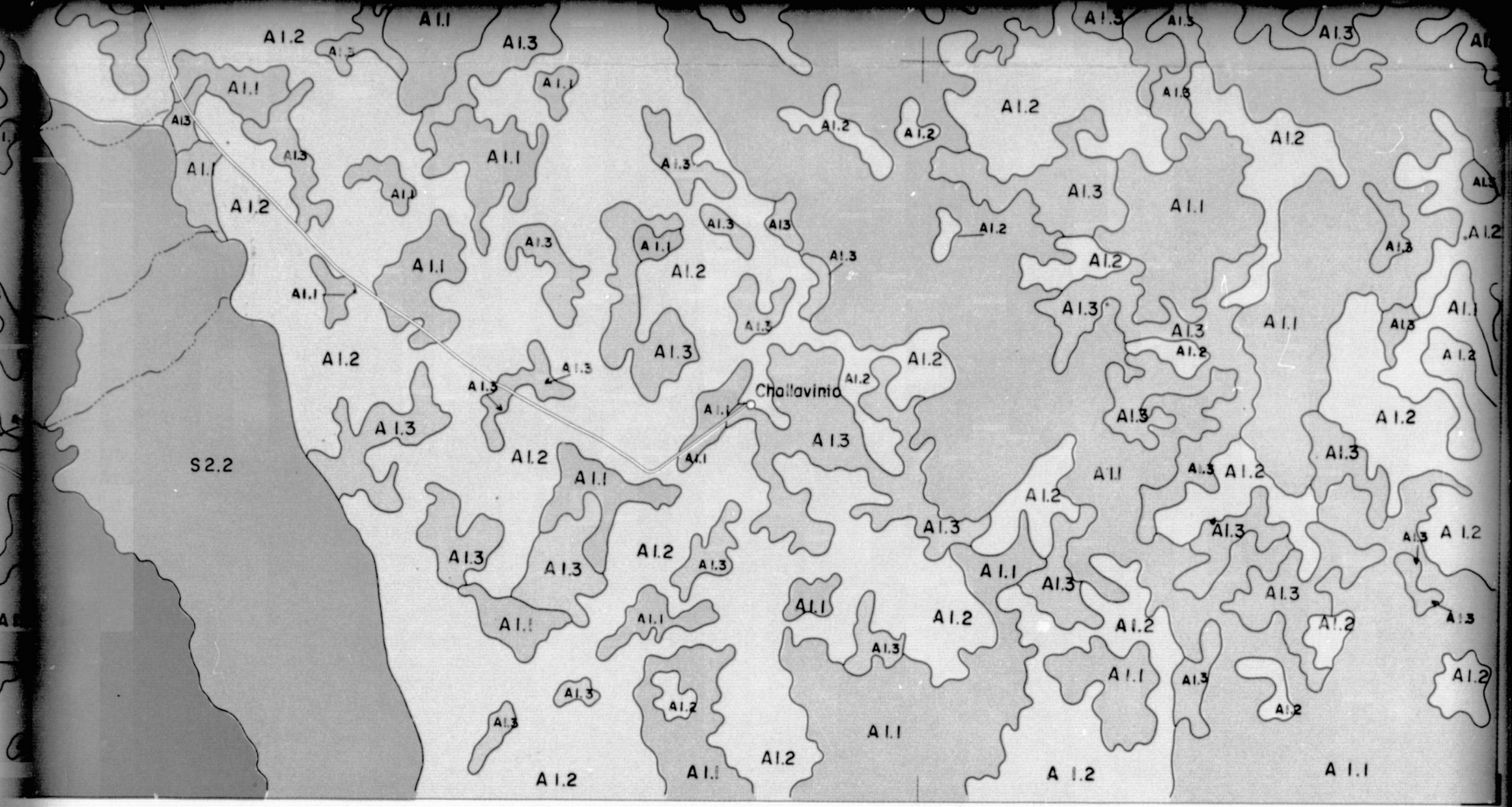
SIGNOS CONVENCIONALES

Poblaciones importantes	o
Caminos	
Dunas	D
Rios permanentes	
Rios intermitentes	
Aluvión	

Preparado por el Programa del Satélite Tecnológico de Recursos Naturales, ERTS-Bolivia. Elaborado en base a cintas magnéticas del Satélite LANDSAT; procesamiento digital por computadora. Comprobación de campo realizada en 1.977
Base cartográfica: Mapas topográficos escala 1:50.000
Instituto Geográfico Militar.

FOLDOUT FRAME 5

USO ACTUAL DE LA TIERRA BOLIVIA 1:50.000 EDICION 1 P.E.B.



Escala 1:50,000

1000 2000 3000 4000 Metros

1 2 3 Millas Terrestres Inglesas

IMPRESA EN LOS TALLERES DE INDUSTRIAS OFFSET COLOR S.R.
INDABURO 1184 - TEL.: 53258 - LA PAZ - BOLIVIA

PROYECCION TRANSVERSA DE MERCATOR

SIGNOS CONVENCIONALES

- Poblaciones importantes
- Caminos
- Dunas (D)
- Rios permanentes
- Rios intermitentes
- Aluvión

UBICACION IMAGEN DESAGUADERO

REPRODUCIBILITY OF THE ORIGINAL PAGE IS POOR

FOLDOUT FRAME 6

ama del Satélite Tecnológico de Recursos Naturales, ERTS-
e a cintas magnéticas del Satélite LANDSAT; procesamien-
dora. Comprobación de campo realizada en 1.977
s topográficos escala 1:50.000
tar.

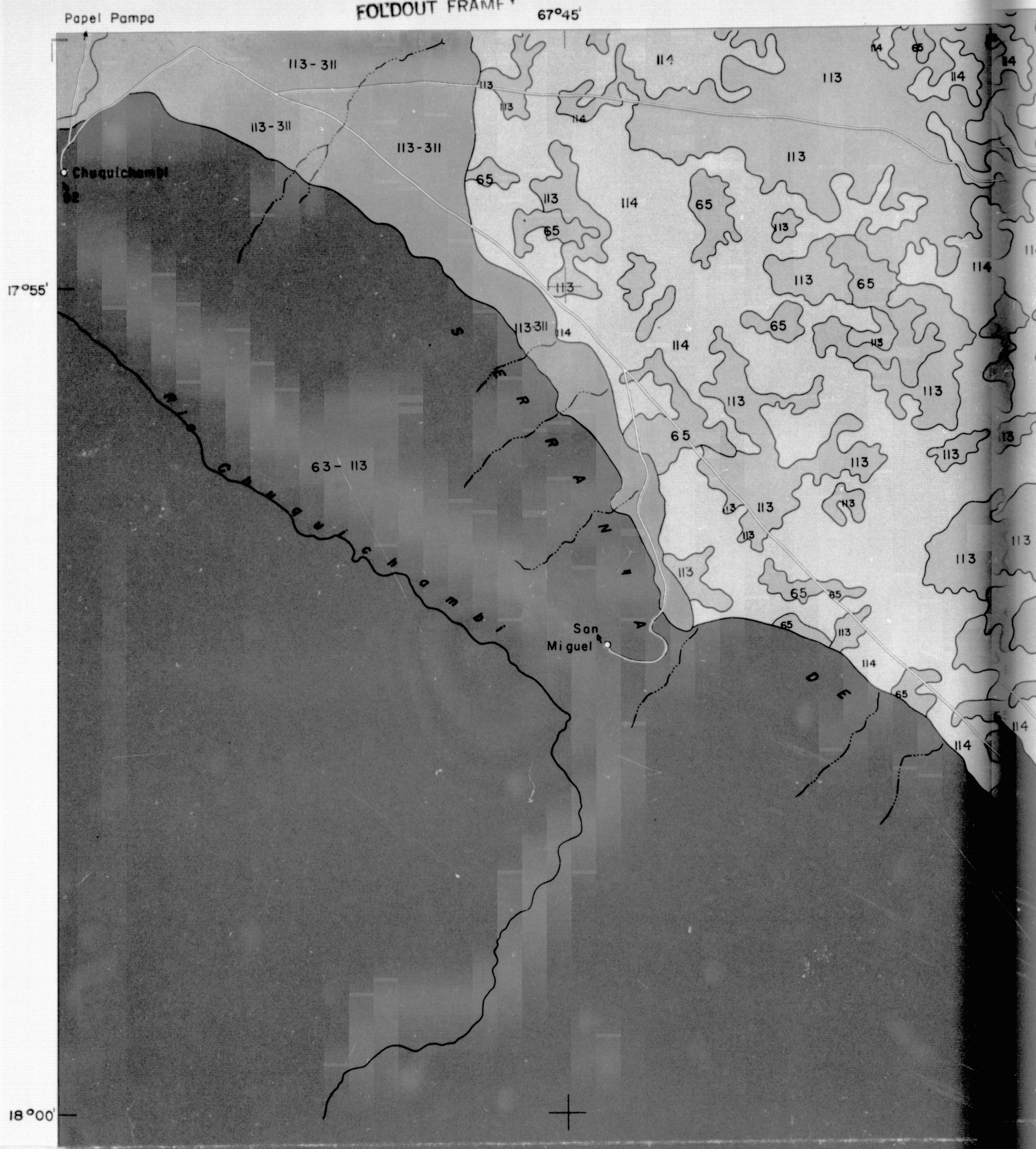
REPRODUCIBILITY OF THE ORIGINAL PAGE IS POOR

HUAYLLAMARCA SUR

USO ACTUAL DE LA TIERRA-BOLIVIA 1: 50.000

EDICION 1 P.E.B

FOLDOUT FRAME 1



FOLDOUT FRAME 3

MAPA DIGITAL

RODUCIBILITY OF THE
RIGINAL PAGE IS POOR

HUAYLLAMARCA SUR

FOLDOUT FRAME

67°40'

Lajma

Llanquera

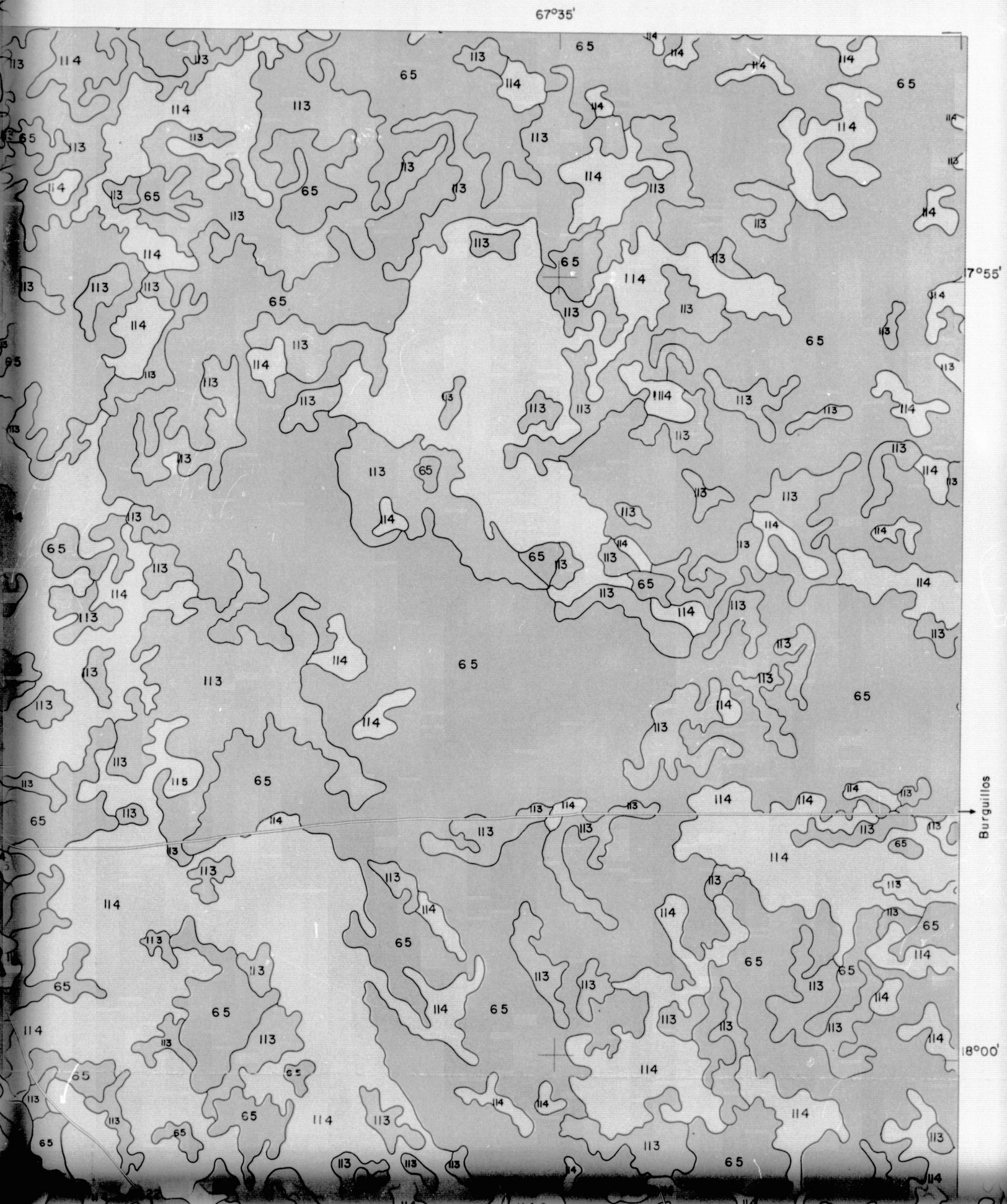
CHILLAMARCA

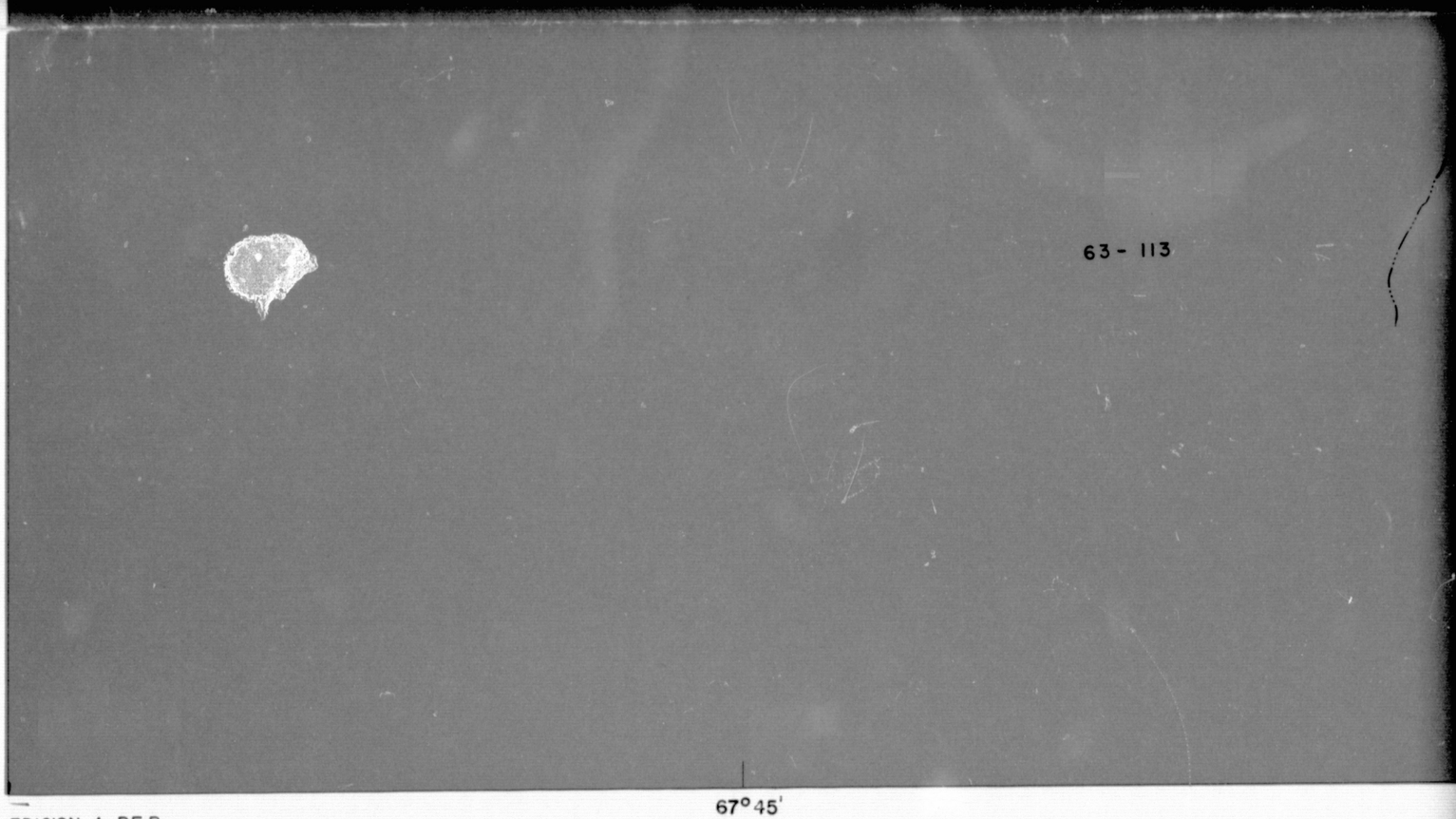
SUR

FOLDOUT FRAME 2

FOLDOUT FRAME 3

MAPA DIGITAL
EXPERIMENTAL





EDICION 1-P.E.B.

Preparado por el Programa del Satélite Tecnológico de Recursos Naturales, ERTS-Bolivia. Elaborado en base a cintas magnéticas del Satélite LANDSAT; procesamiento digital por computadora. Comprobación de campo realizada en 1.977
Base cartográfica: Mapas topográficos escala 1:50.000
Instituto Geográfico Militar.

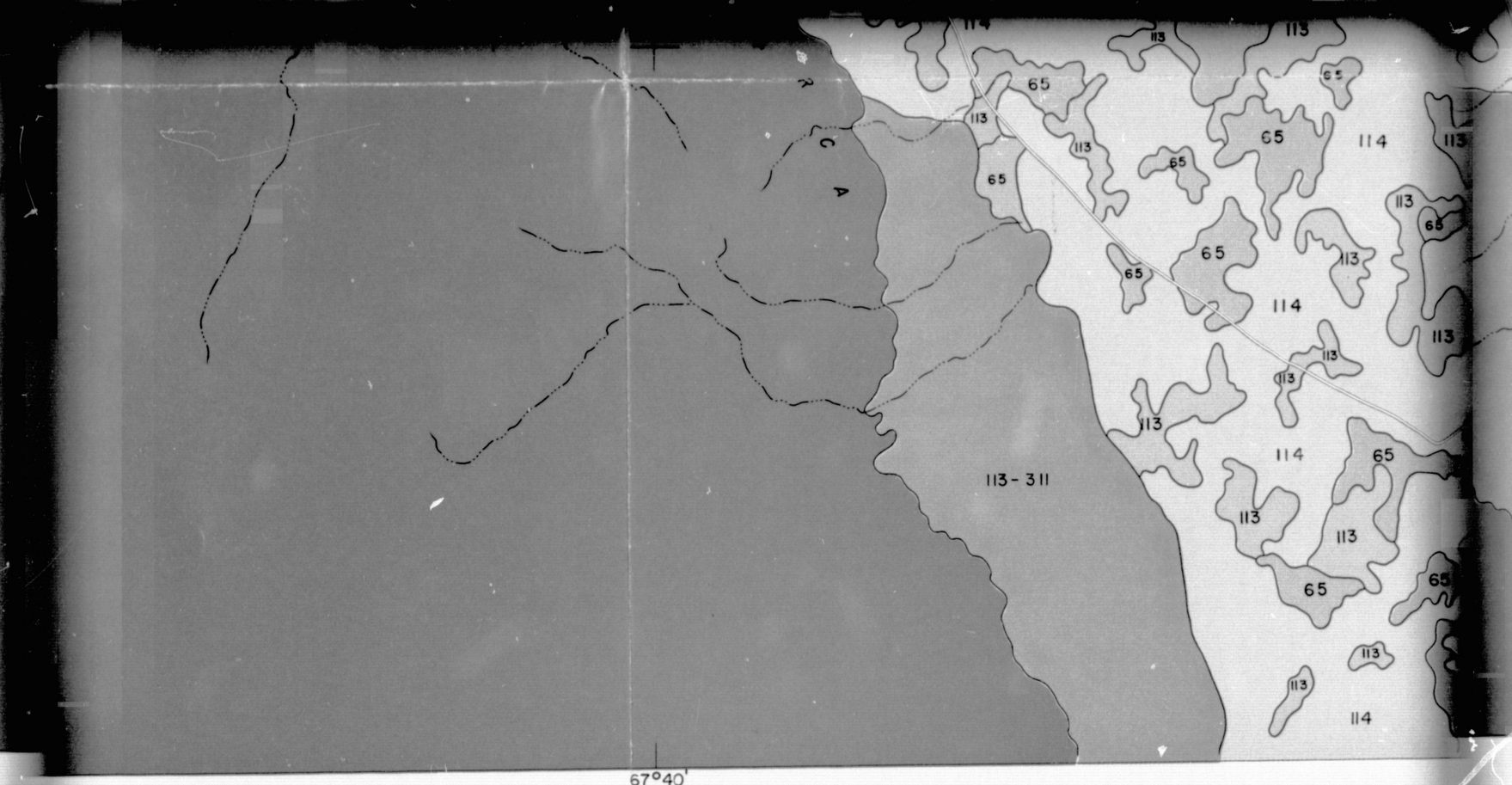
LEYENDA, USO ACTUAL DE LA TIERRA

1	Tierras con pastizales
11	Pastizales de altura
113	Pastizales de altura secos
113-311	Pastizales de altura secos y cultivos con una cosecha anual
114	Pastizales de altura secos afectados por salinidad
5	Agua
53	Rios
531	Rios permanentes
532	Rios temporales
6	Tierras eriales
63-113	Afloramientos rocosos y pastizales de altura secos
65	Tierras salinas
9	Areas urbanas
92	Pueblos
93	Transportes y comunicaciones
932	Carreteras y caminos

REPRODUCIBILITY OF THE ORIGINAL PAGE IS POOR

ERTS - BOLIVIA PROGRAMA DEL SATELITE TECNOLOGICO DE RECURSOS NATURALES

FOLDOUT FRAME 4



67°40'

Escala 1:50,000

1000 500 0 1000 2000 3000 4000 Metros

1 ½ 0 1 2 3 Millas Terrestres Inglesas

PROYECCION TRANSVERSA DE MERCATOR

SIGNOS CONVENCIONALES

Poblaciones importantes o

Caminos

Dunas D

Rios permanentes

Rios intermitentes

Aluvión

REPRODUCIBILITY OF THE ORIGINAL PAGE IS POOR

FOLDOUT FRAME 5

SE SOLICITA A LOS LECTORES QUE ENCUENTREN ERRORES U OMISIONES EN ESTE MAPA, MARCAR LAS CORRECCIONES EN EL MISMO Y ENVIARLO AL DIRECTOR DEL PROGRAMA ERTS, CASILLA 2729 LA PAZ-BOLIVIA. ESTOS MAPAS SERAN DEVUELTOS O SUBSTITUIDOS SI ASI SE DESEA

USO ACTUAL DE LA TIERRA BOLIVIA 1:50.000 EDICION 1-P. E. B.

IMPRESA EN LOS TALLERES DE INDUSTRIAS OFFSET COLOR S.R.L.
INDABURO 1184 - TEL.: 53258 - LA PAZ - BOLIVIA

4000 Metros

3 Millas Terrestres Inglesas

UBICACION IMAGEN DESAGUADERO

REPRODUCIBILITY OF THE ORIGINAL PAGE IS POOR

FOLDOUT FRAME 5

PA, MARCAR

SI SE DESEA

FOLDOUT FRAME 4

HUAYLLAMARCA SUR

USO ACTUAL DE LA TIERRA BOLIVIA 1:50.000 EDICION 1 P.E.B

FOLDOUT FRAME

67°45'

17°40'

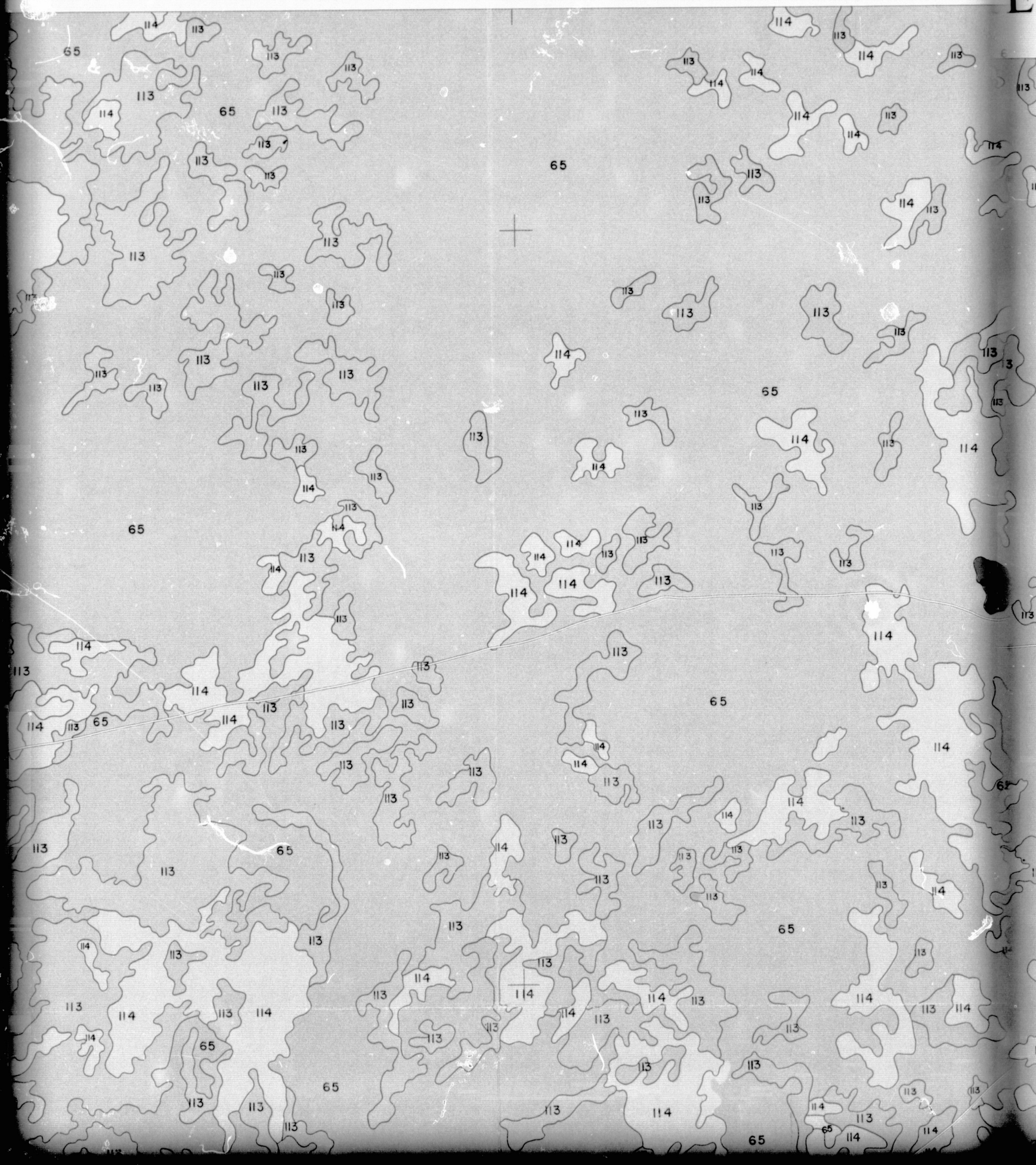
17°50'

Papel Pampa

P.E.B

HUAYLLAMARCA NORTE

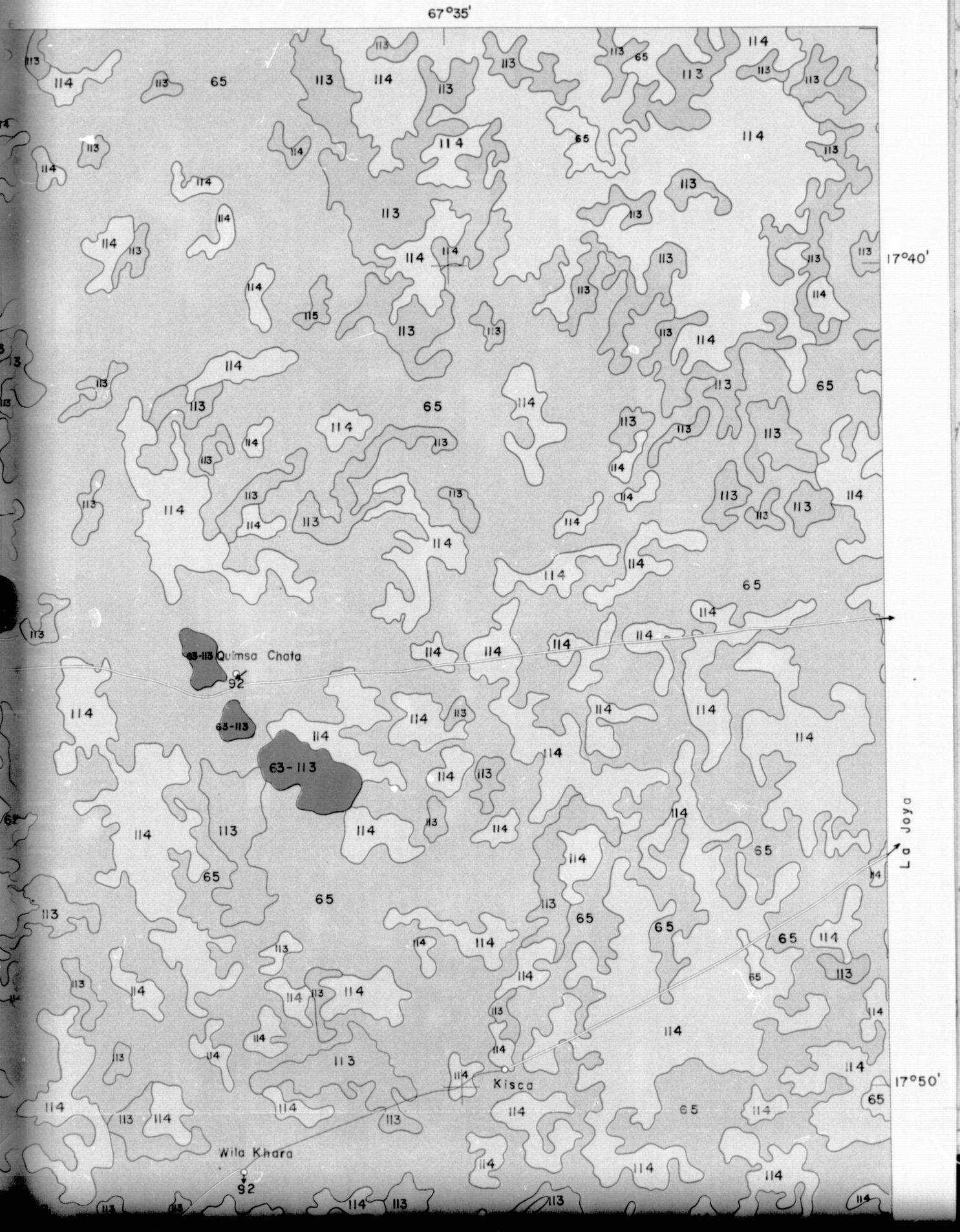
67°40'



E2

FOLDOUT FRAME 3

MAPA DIGITAL
EXPERIMENTAL



Chuquichambi
EDICION 1- P.E.B.

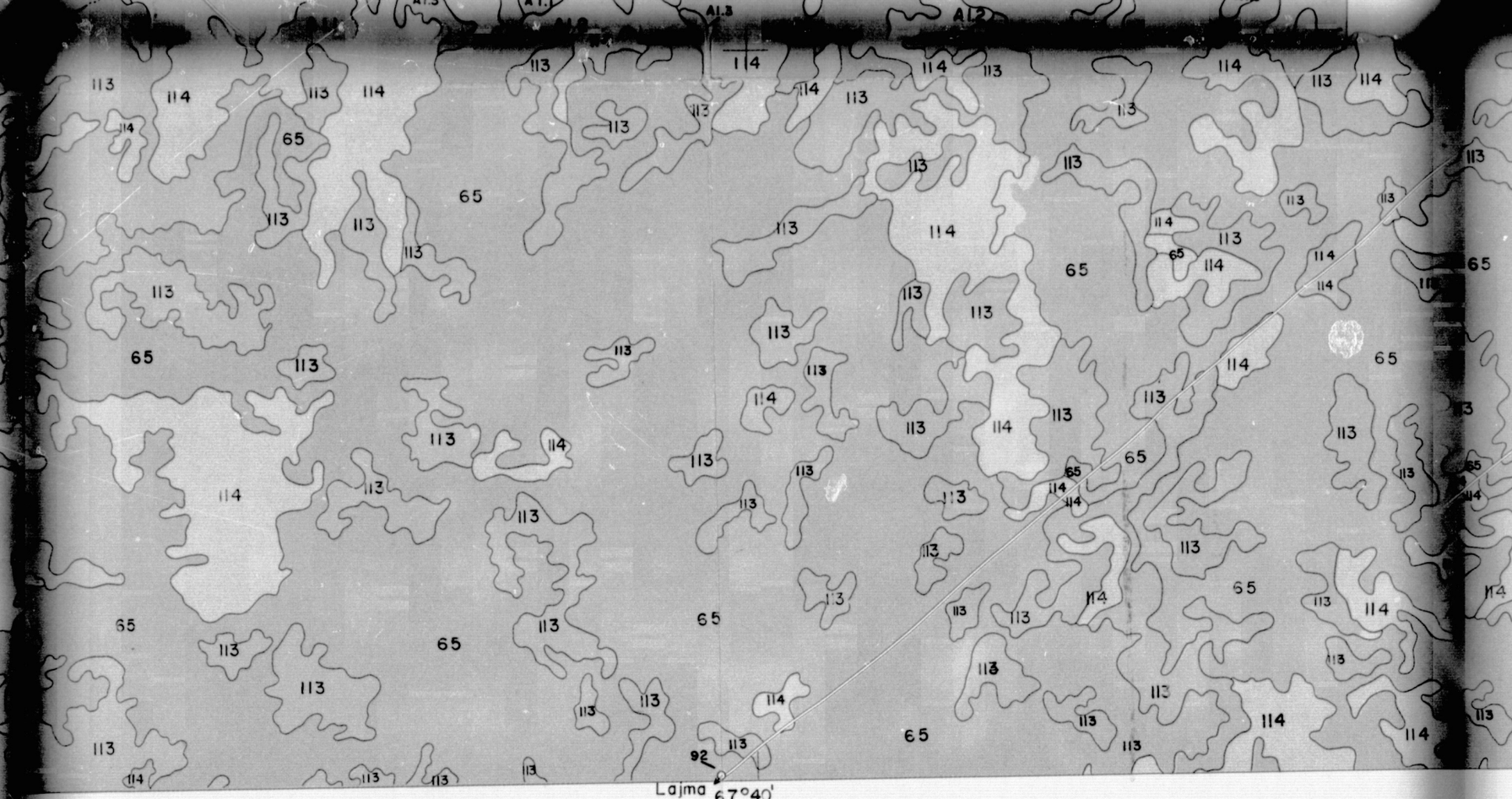
Preparado por el Programa del Satélite Tecnológico de Recursos Naturales, ERTS-Bolivia. Elaborado en base a cintas magnéticas del Satélite LANDSAT; procesamiento digital por computadora. Comprobación de campo realizada en 1.977
Base cartográfica: Mapas topográficos escala 1:50.000
Instituto Geográfico Militar.

LEYENDA, USO ACTUAL DE LA TIERRA

1	Tierras con pastizales
11	Pastizales de altura
113	Pastizales de altura secos
113-311	Pastizales de altura secos y cultivos con una cosecha anual
114	Pastizales de altura secos afectados por salinidad
5	Agua
53	Rios
531	Rios permanentes
532	Rios temporales
6	Tierras eriales
63-113	Afloramientos rocosos y pastizales de altura secos
65	Tierras salinas
9	Areas urbanas
92	Pueblos
93	Transportes y comunicaciones
932	Carreteras y caminos

ERTS - BOLIVIA
PROGRAMA DEL SATELITE TECNOLOGICO DE RECURSOS NATURALES

FOLDOUT FRAME 4



Escala 1:50,000

1000 500 0 1000 2000 3000 4000 Metros

1 ½ 0 1 2 3 Millas Terrestres Inglesas

PROYECCION TRANSVERSA DE MERCATOR

SIGNOS CONVENCIONALES

Pob'aciones importantes o

Caminos

Dunas, Arenales 622 621

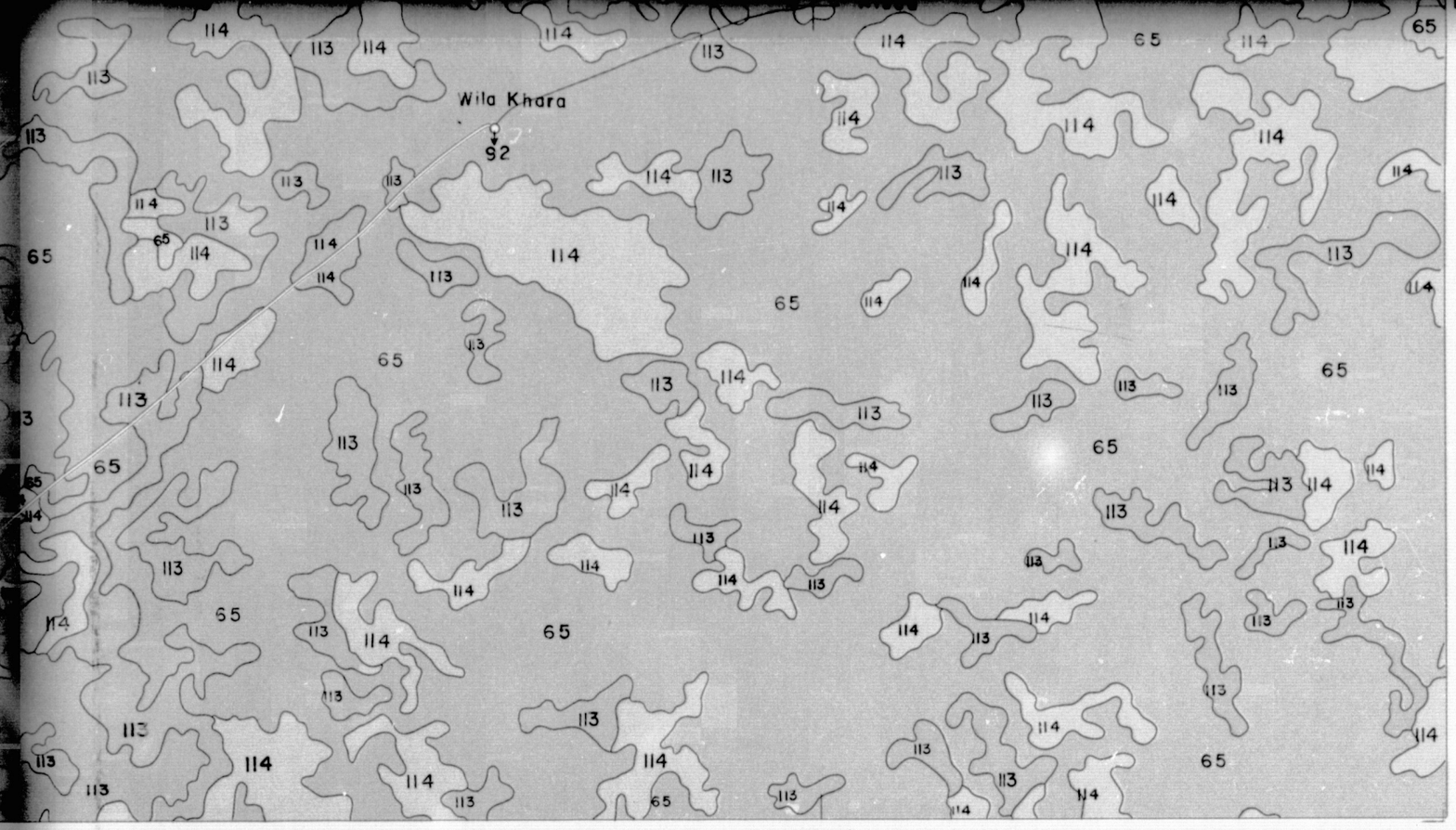
Rios permanentes

Rios intermitentes

Aluvión

FOLDOUT FRAME 5

SE SOLICITA A LOS LECTORES QUE ENCUENTREN ERRORES U OMISIONES EN ESTE MAPA, MARCAR LAS CORRECCIONES EN EL MISMO Y ENVIARLO AL DIRECTOR DEL PROGRAMA ERTS, CASILLA 2729 LA PAZ-BOLIVIA. ESTOS MAPAS SERAN DEVUELTOS O SUBSTITUIDOS SI ASI SE DESEA

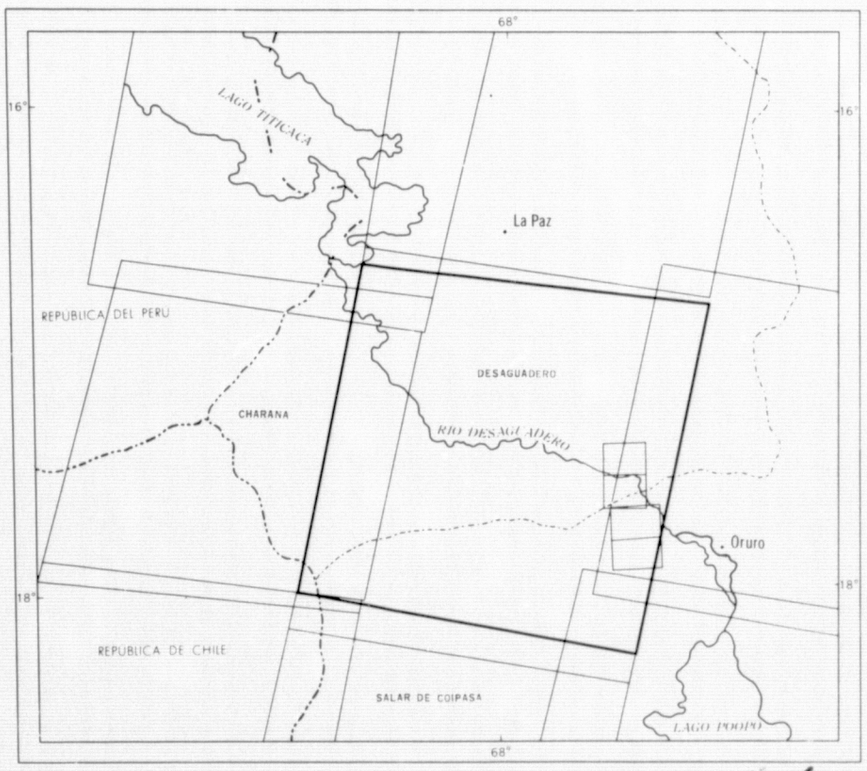


67°35' LA PAZ - XI-77 IMPRESO POR EDITORIAL "OFFSET COLOR"

Metros

3 Millas Terrestres Inglesas

UBICACION IMAGEN DESAGUADERO



ME 5

RCAR

ESEA

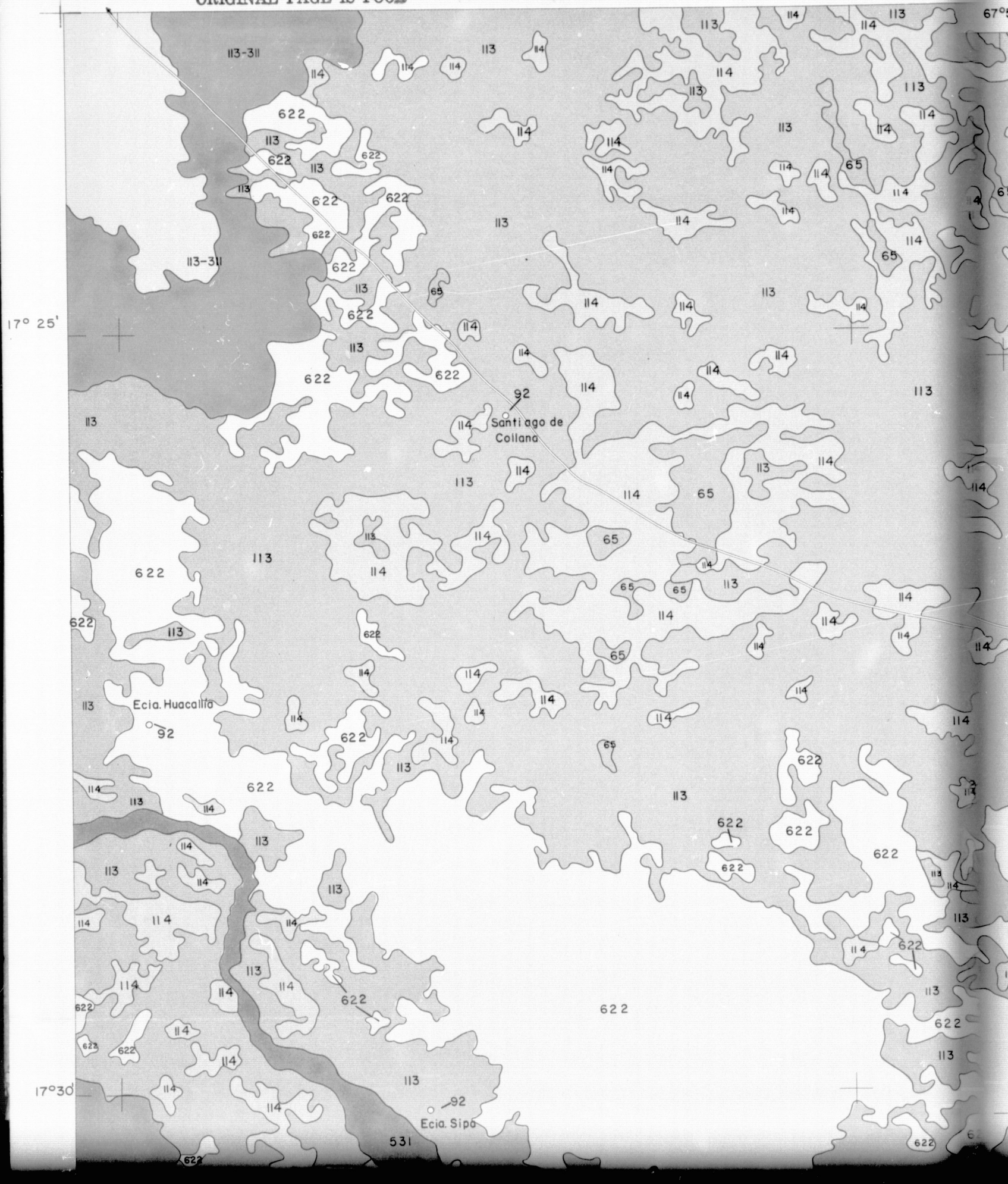
FOLDOUT FRAME 6

HUAYLLAMARCA NORTE

USO ACTUAL DE LA TIERRA BOLIVIA 1:50.000 EDICION 1 P.E.B.

REPRODUCIBILITY OF THE ORIGINAL PAGE IS POOR

FOLDOUT FRAME 1

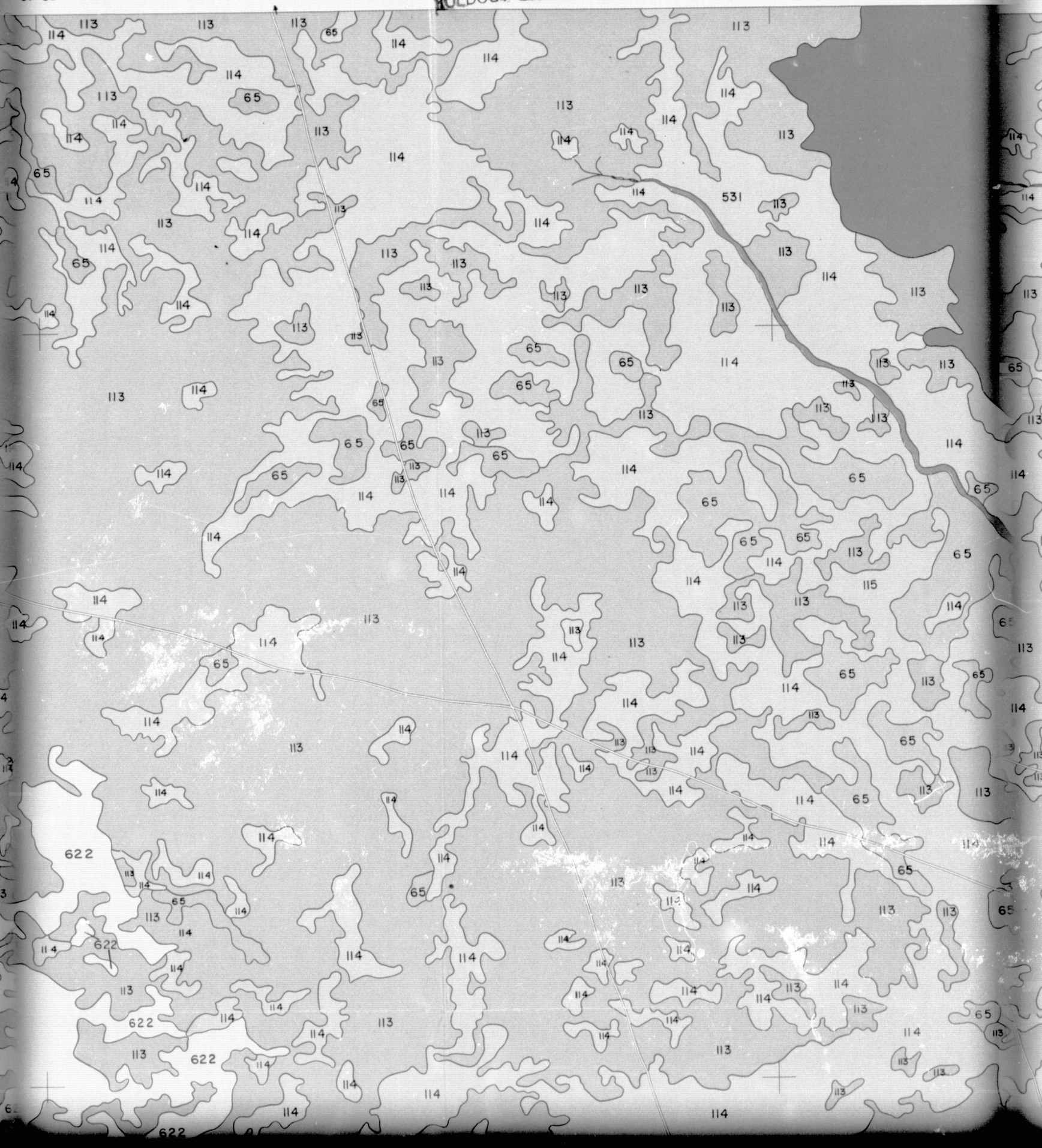


EUCALIPTUS NORTE

67°55'

FOLDOUT FRAME 2

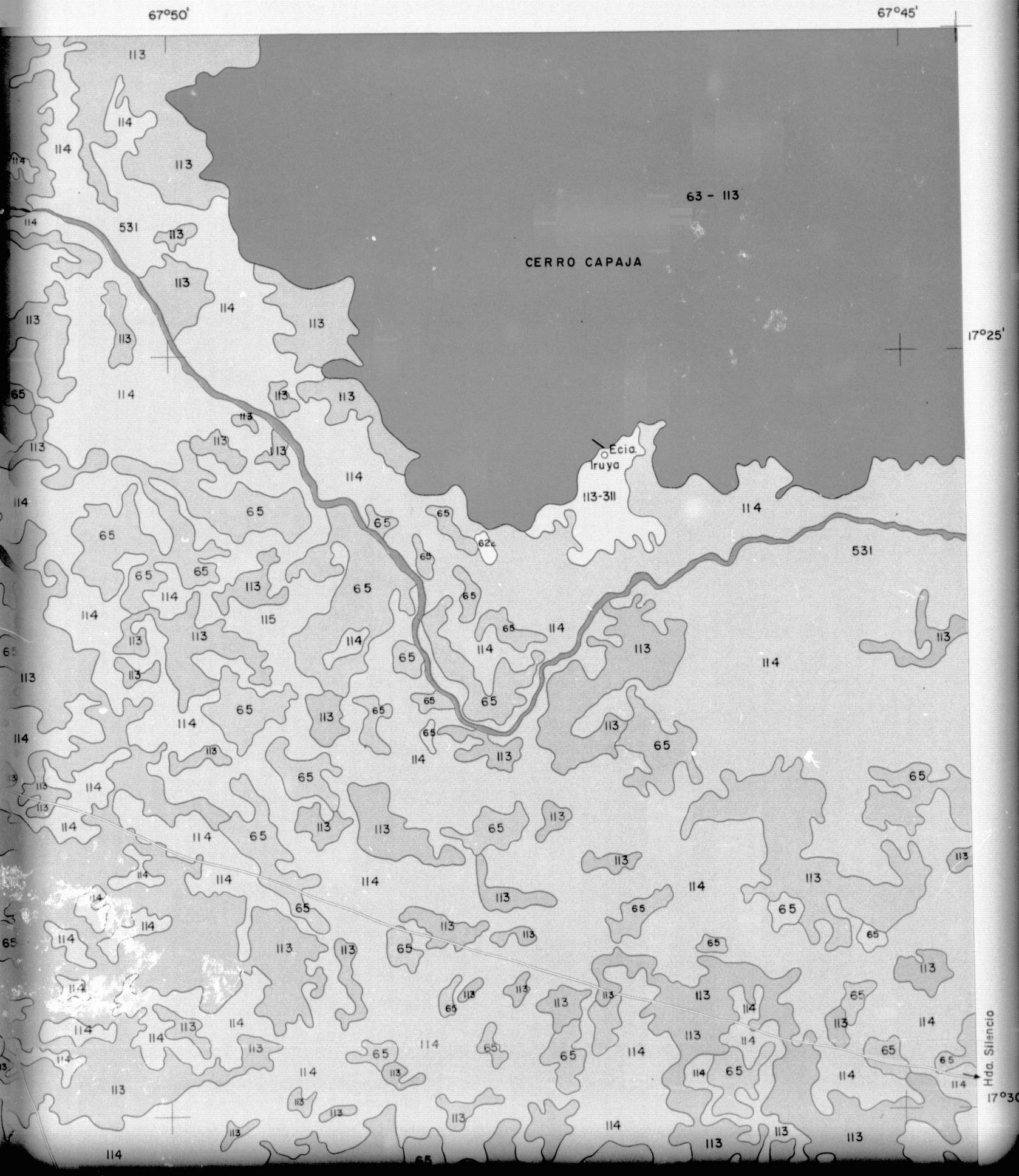
67°50'

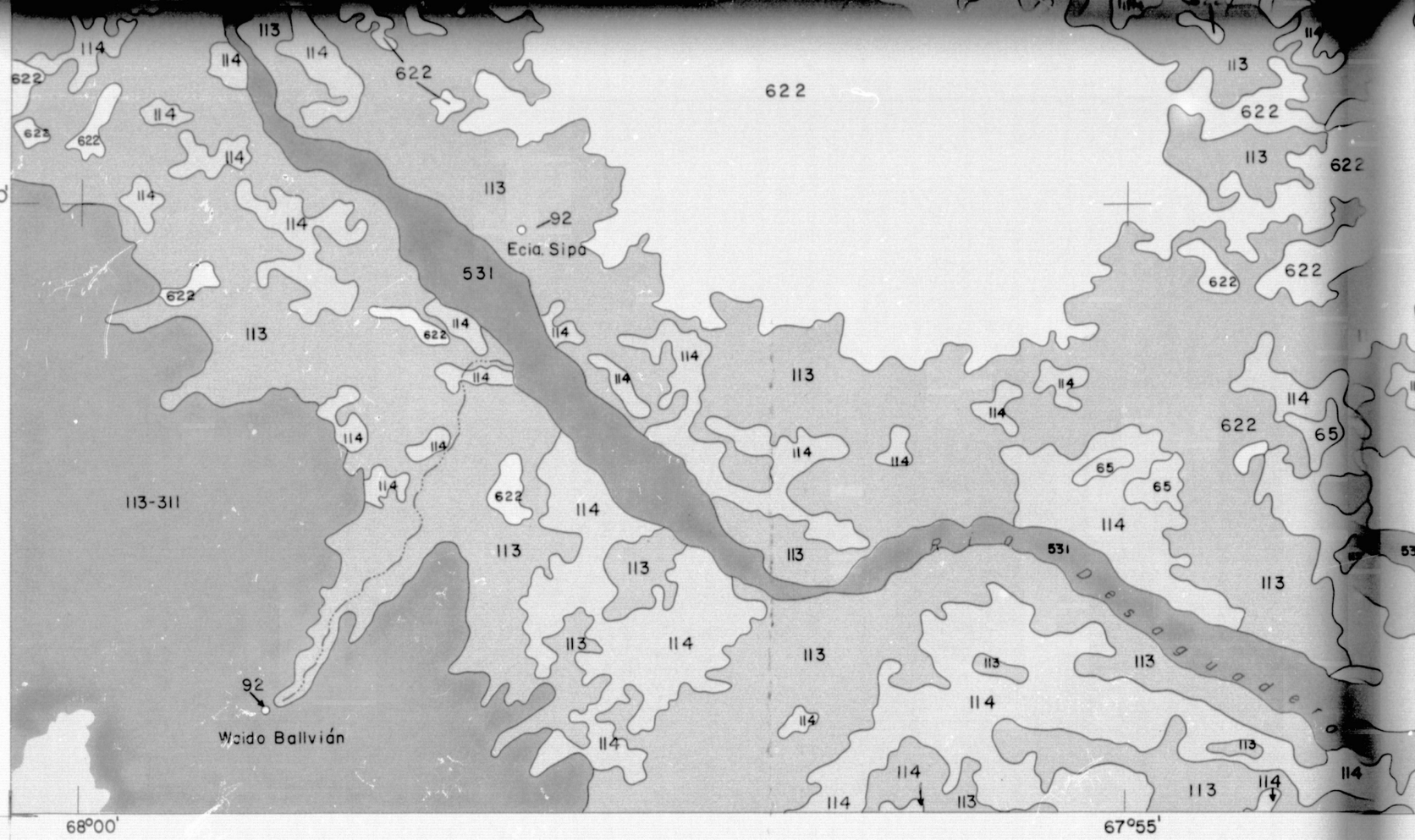


NORTE

FOLDOUT FRAME 3

MAPA DIGITAL
EXPERIMENTAL





EDICION 1-P.E.B.

Preparado por el Programa del Satélite Tecnológico de Recursos Naturales, ERTS-Bolivia. Elaborado en base a cintas magnéticas del Satélite LANDSAT; procesamiento digital por computadora. Comprobación de campo realizada en 1.977
Base cartográfica: Mapas topográficos escala 1:50.000
Instituto Geográfico Militar.

LEYENDA, USO ACTUAL DE LA TIERRA

1	Tierras con pastizales
11	Pastizales de altura
113	Pastizales de altura secos
113-311	Pastizales de altura secos y cultivos con una cosecha anual
114	Pastizales de altura secos afectados por salinidad
5	Agua
53	Rios
531	Rios permanentes
532	Rios temporales
6	Tierras eriales
63-113	Afloramientos rocosos y pastizales de altura secos
65	Tierras salinas
9	Areas urbanas
92	Pueblos
93	Transportes y comunicaciones
932	Carreteras y caminos

PROGRAMA DEL SATELITE TECNOLOGICO DE RECURSOS NATURALES ERTS - BOLIVIA

FOLDOUT FRAME 4

Escala 1:50,000

1000 500 0 1000 2000 3000 4000 Metros

1 ½ 0 1 2 3 Millas Terrestres Inglesas

PROYECCION TRANSVERSA DE MERCATOR

SIGNOS CONVENCIONALES

Poblaciones importantes o

Caminos

Dunas, Arenales 622 621

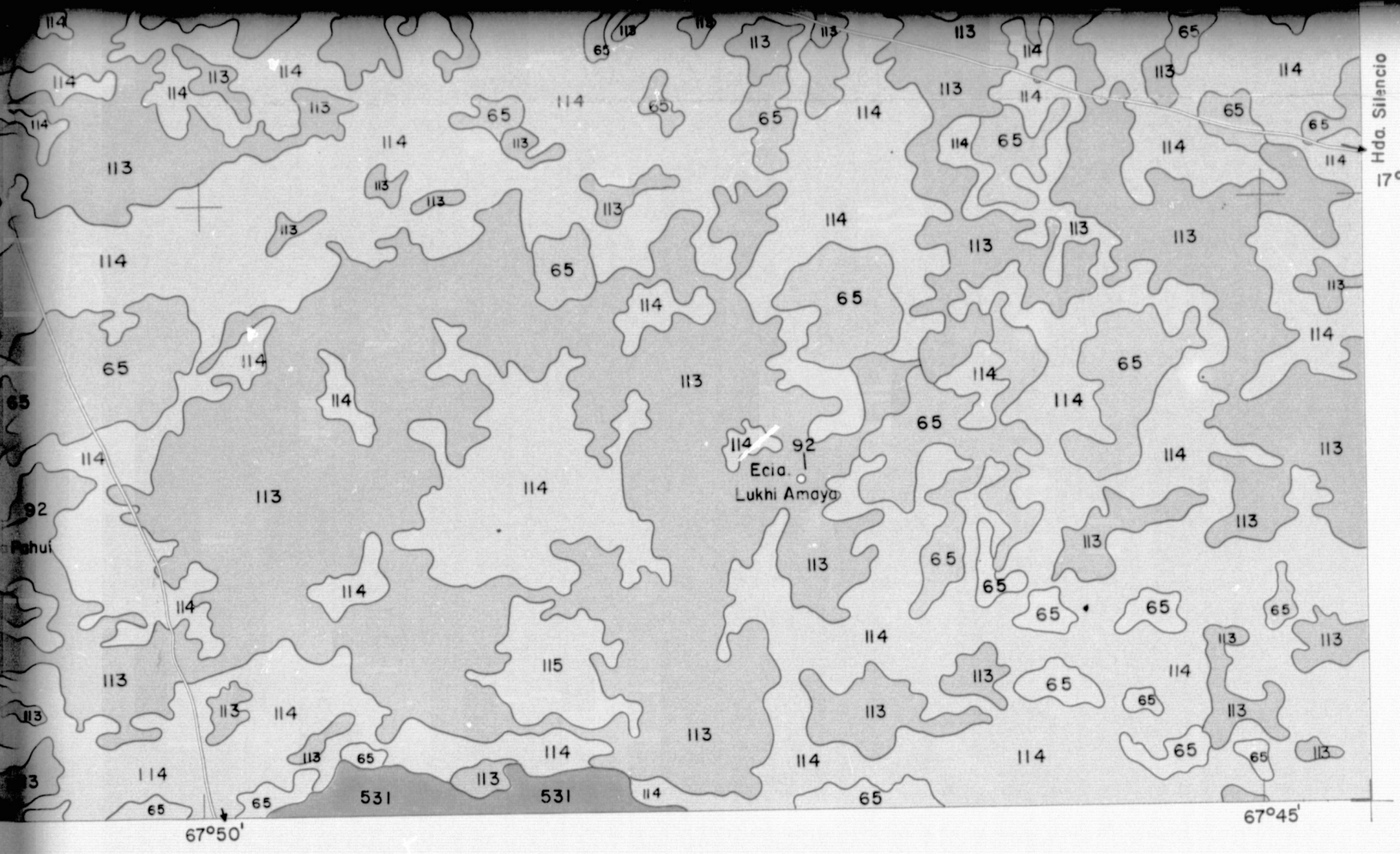
Rios permanentes

Rios intermitentes

SATELITE TECNOLOGICO
ERTS - BOLIVIA
DEL SATELITE TECNOLOGICO
RECURSOS NATURALES

FOLDOUT FRAME 5

SE SOLICITA A LOS LECTORES QUE ENCUENTREN ERRORES U OMISIONES EN ESTE MAPA, MARCAR LAS CORRECCIONES EN EL MISMO Y ENVIARLO AL DIRECTOR DEL PROGRAMA ERTS, CASILLA 2729 LA PAZ-BOLIVIA ESTOS MAPAS SERAN DEVUELTOS O SUBSTITUIDOS SI ASI SE DESEA

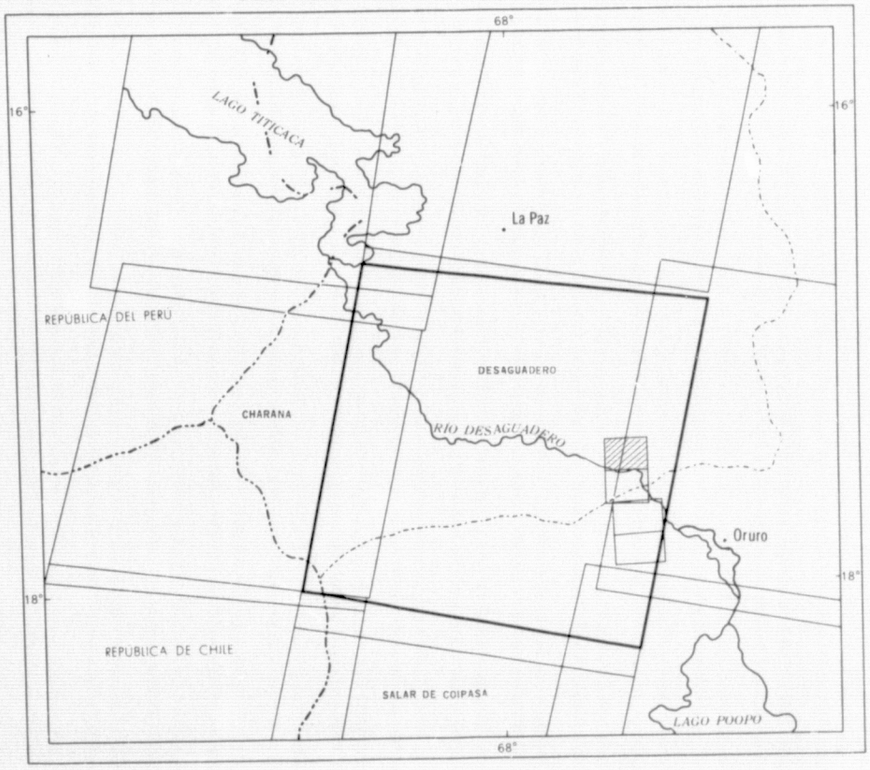


4000 Metros

Millas Terrestres Inglesas

LA PAZ-XI-77 IMPRESO POR EDITORIAL "OFFSET COLOR"

UBICACION IMAGEN DESAGUADERO



APA, MARCAR

ASI SE DESEA

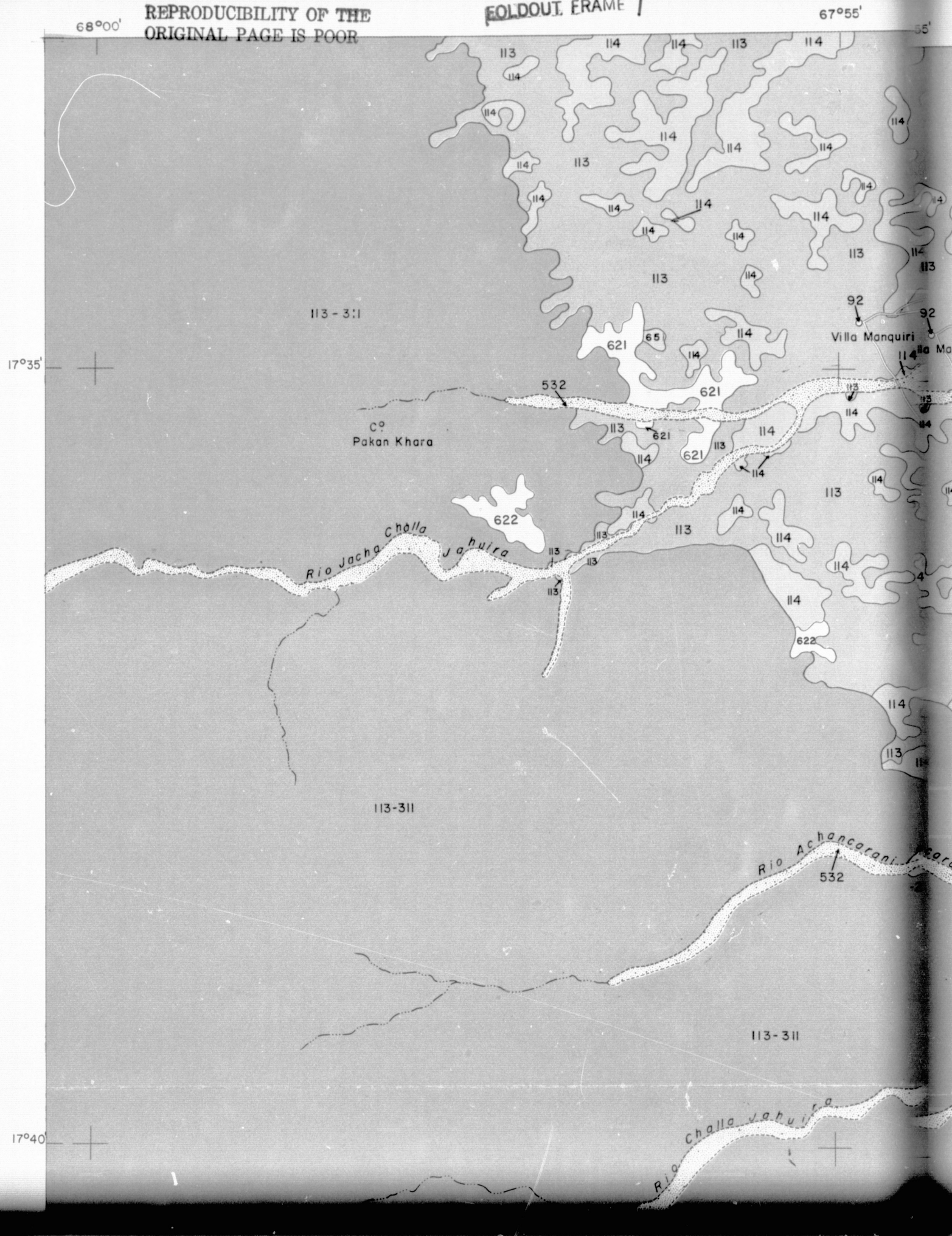
EUCALIPTUS NORTE

DOUI FRAME 6

USO ACTUAL DE LA TIERRA BOLIVIA 1:50.000 EDICION 1-P. E. B.

REPRODUCIBILITY OF THE ORIGINAL PAGE IS POOR

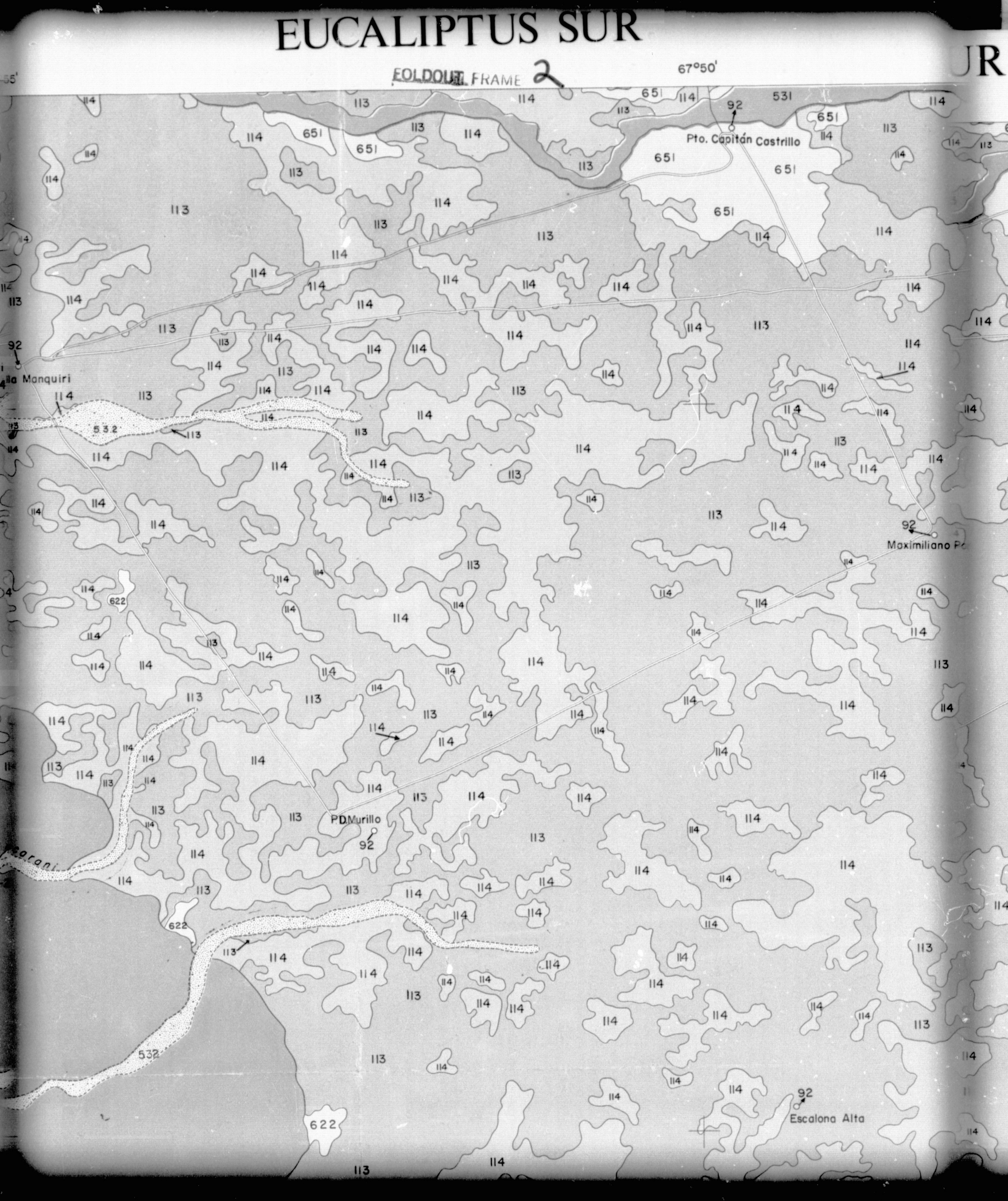
FOLDOUT FRAME 1



EUCALIPTUS SUR

FOLDOUT FRAME 2

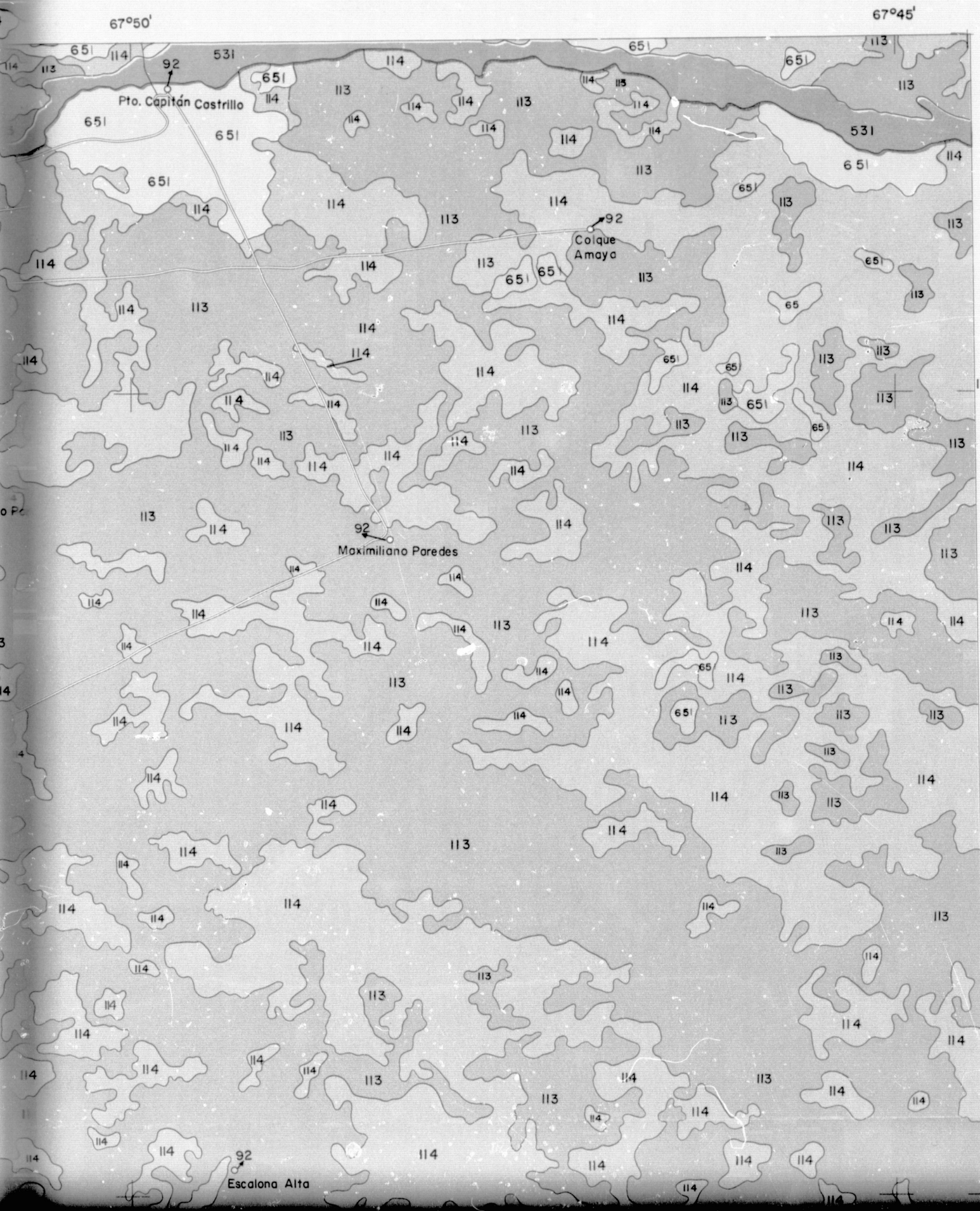
67°50'

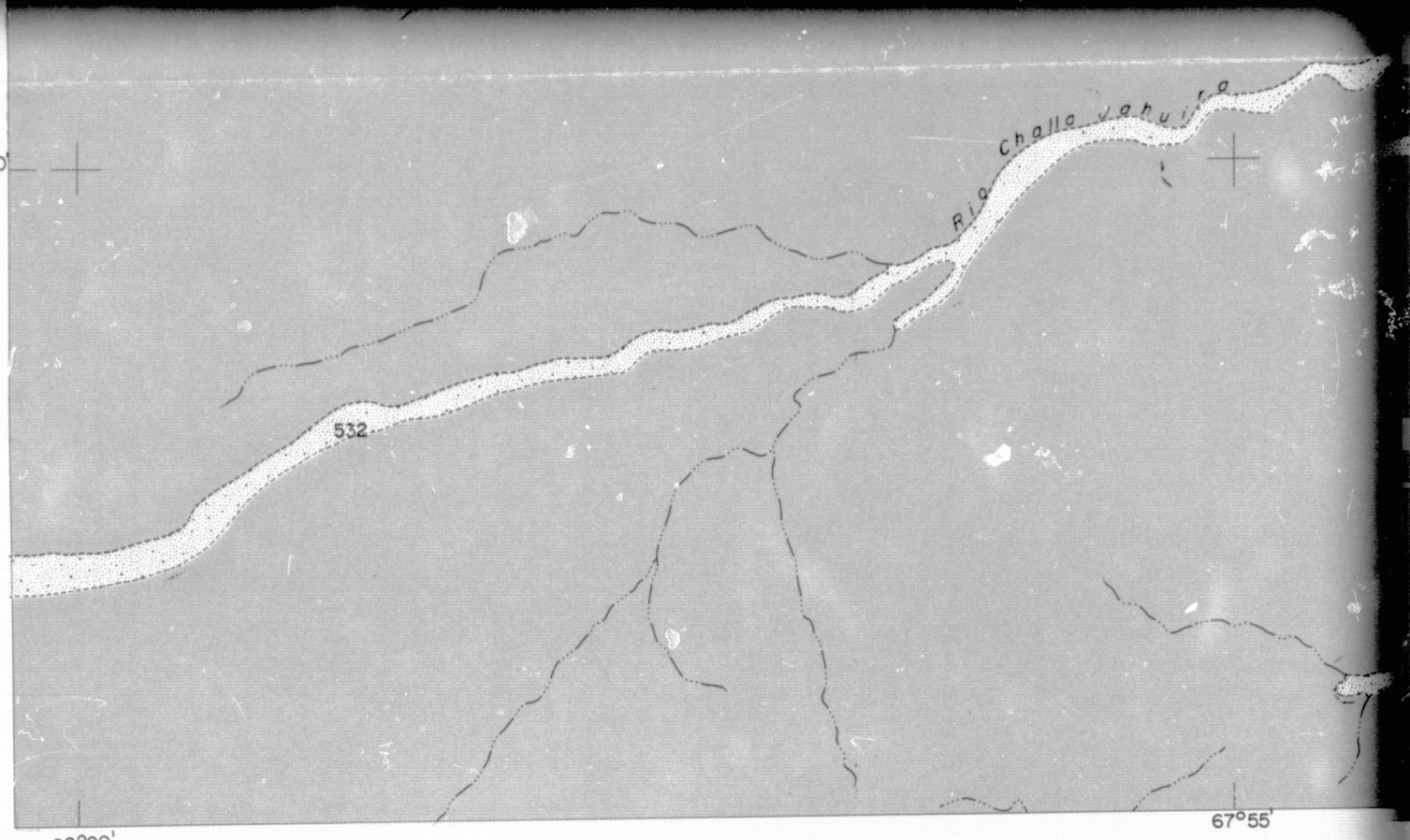


JR

FOLDOUT FRAME 3

MAPA DIGITAL
EXPERIMENTAL





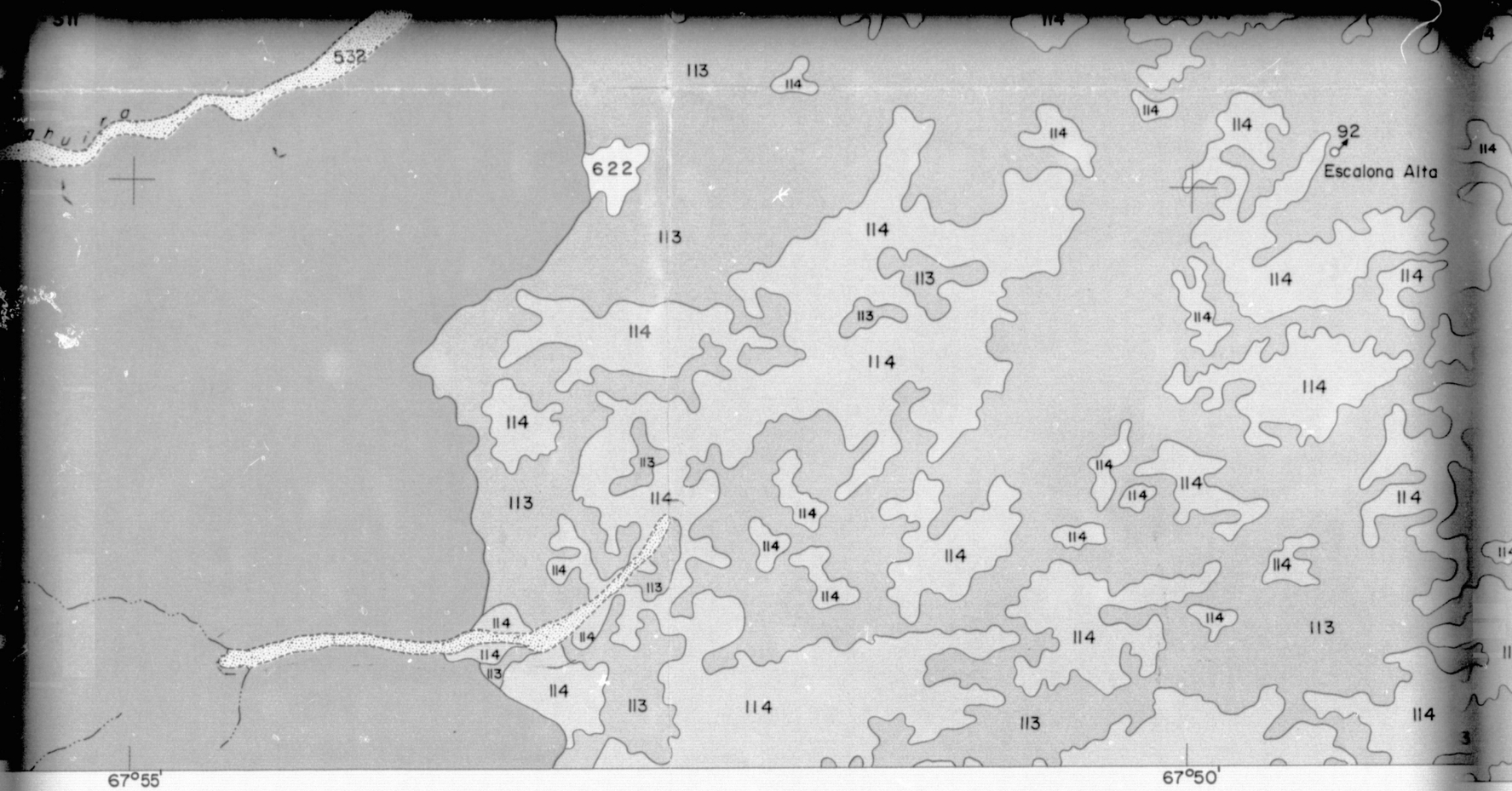
EDICION 1- P.E.B.

Preparado por el Programa del Satélite Tecnológico de Recursos Naturales, ERTS-Bolivia. Elaborado en base a cintas magnéticas del Satélite LANDSAT; procesamiento digital por computadora. Comprobación de campo realizada en 1.977
Base cartográfica: Mapas topográficos escala 1:50.000
Instituto Geográfico Militar.

LEYENDA, USO ACTUAL DE LA TIERRA

1	Tierras con pastizales
11	Pastizales de altura
113	Pastizales de altura secos
113 - 311	Pastizales de altura secos y cultivos con una cosecha anual
114	Pastizales de altura secos afectados por salinidad
5	Agua
53	Rios
531	Rios permanentes
532	Rios temporales
6	Tierras eriales
63 - 113	Afloramientos rocosos y pastizales de altura secos
651	Tierras salinas
9	Areas urbanas
92	Pueblos
93	Transportes y comunicaciones
932	Carreteras y caminos

FOLDOUT FRAME 4



Escala 1:50,000

1000 500 0 1000 2000 3000 4000 Metros

1 ½ 0 1 2 3 Millas Terrestres Inglesas

PROYECCION TRANSVERSA DE MERCATOR

SIGNOS CONVENCIONALES

Poblaciones importantes o

Caminos

Dunas, Arenales 622 621

Rios permanentes

Rios intermitentes

Aluvión

FOLDOUT FRAME 5

SE SOLICITA A LOS LECTORES QUE ENCUENTREN ERRORES U OMISIONES EN ESTE MAPA, MARCAR LAS CORRECCIONES EN EL MISMO Y ENVIARLO AL DIRECTOR DEL PROGRAMA ERTS, CASILLA 2729 LA PAZ-BOLIVIA. ESTOS MAPAS SERAN DEVUELTOS O SUBSTITUIDOS SI ASI SE DESEA

LA PAZ - XI - 77 IMPRESO POR EDITORIAL "OFFSET COLOR"

00 Metros

3 Millas Terrestres Inglesas

UBICACION IMAGEN DESAGUADERO

MARCAR

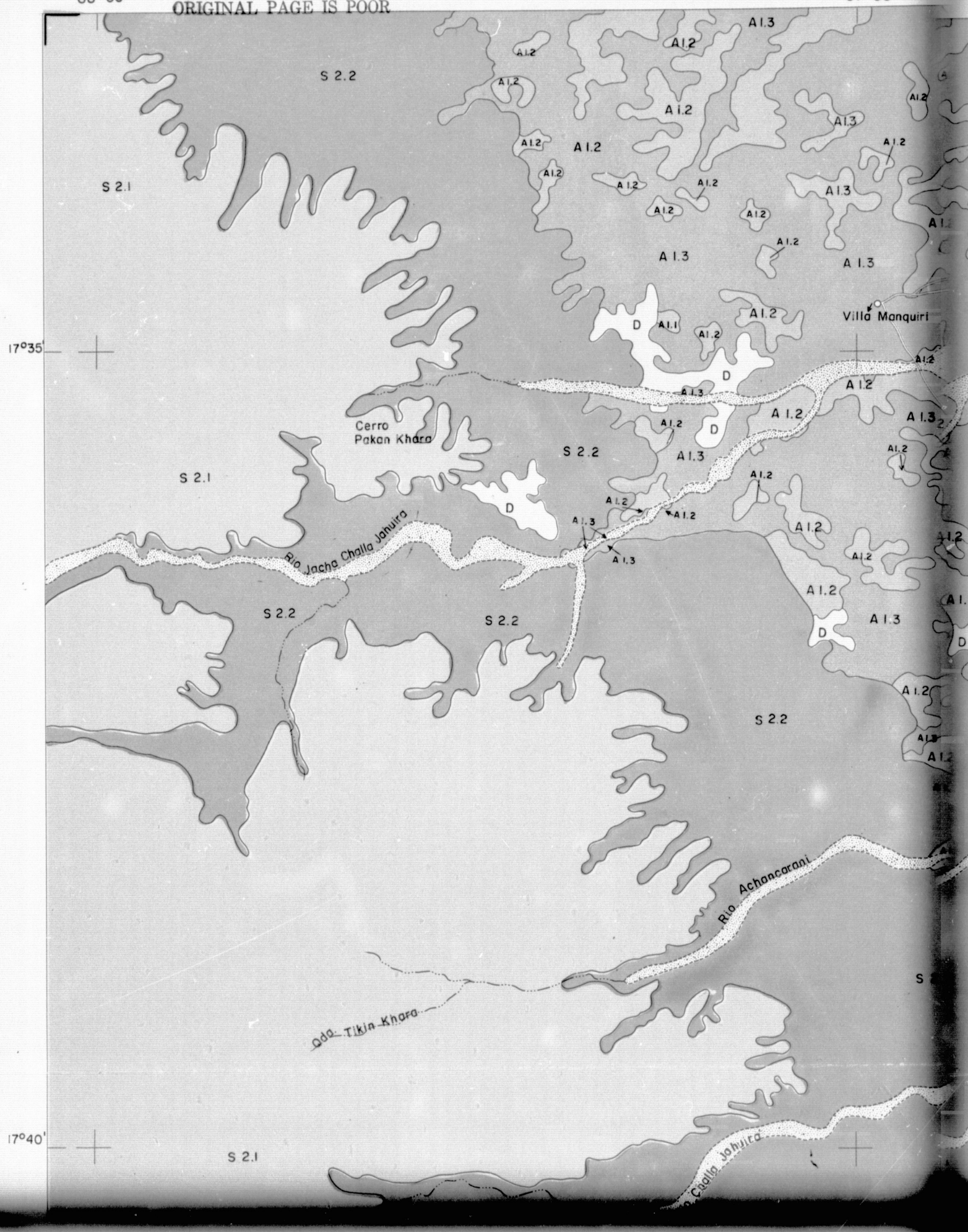
E DESEA

EUCALIPTUS SUR

FOLDOUT FRAME 6

REPRODUCIBILITY OF THE ORIGINAL PAGE IS POOR

FOLDOUT FRAME



P.E.B.

EUCALIPTUS SUR

SU

2

67°55'

FOLDOUT FRAME 2

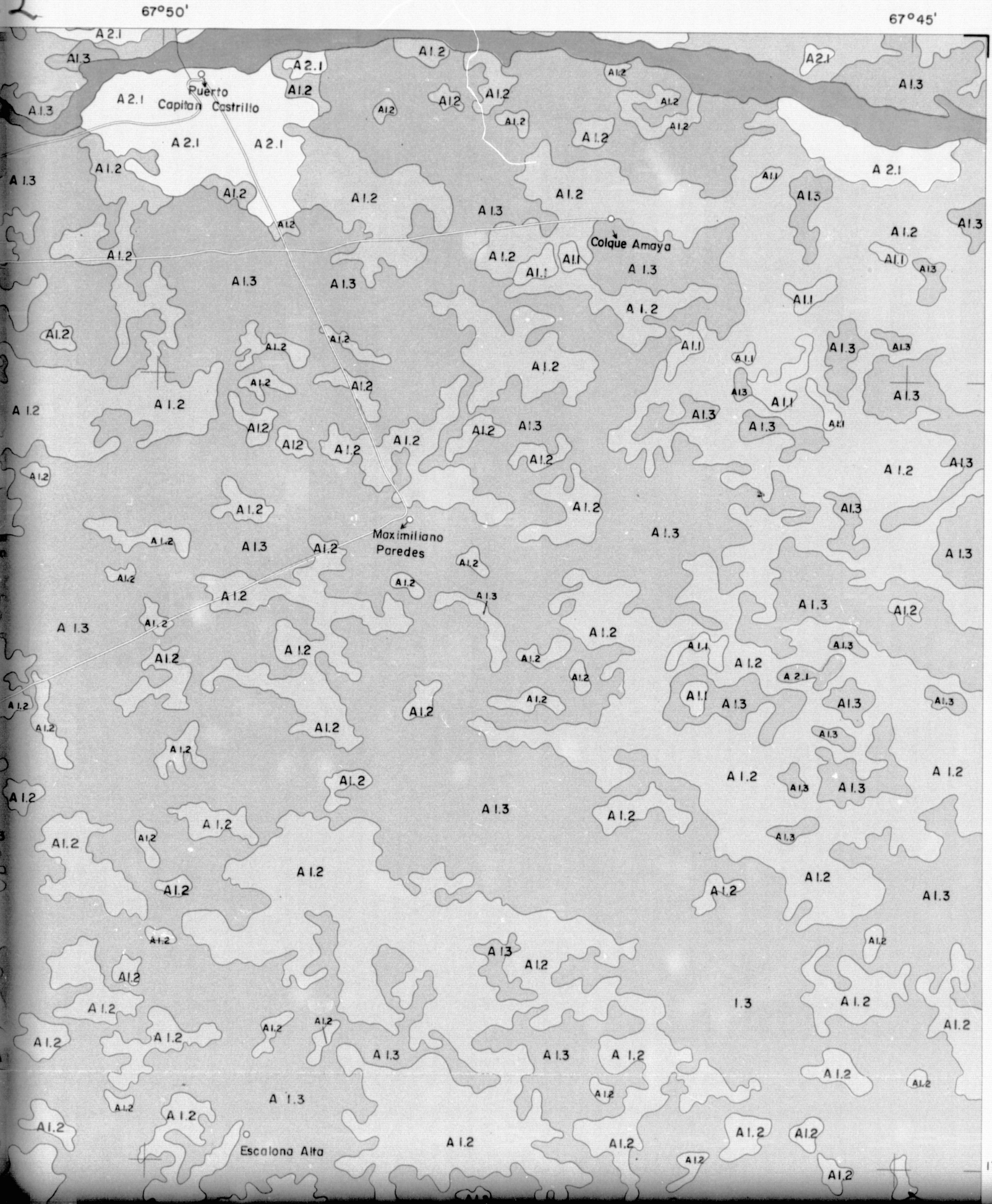
67°50'

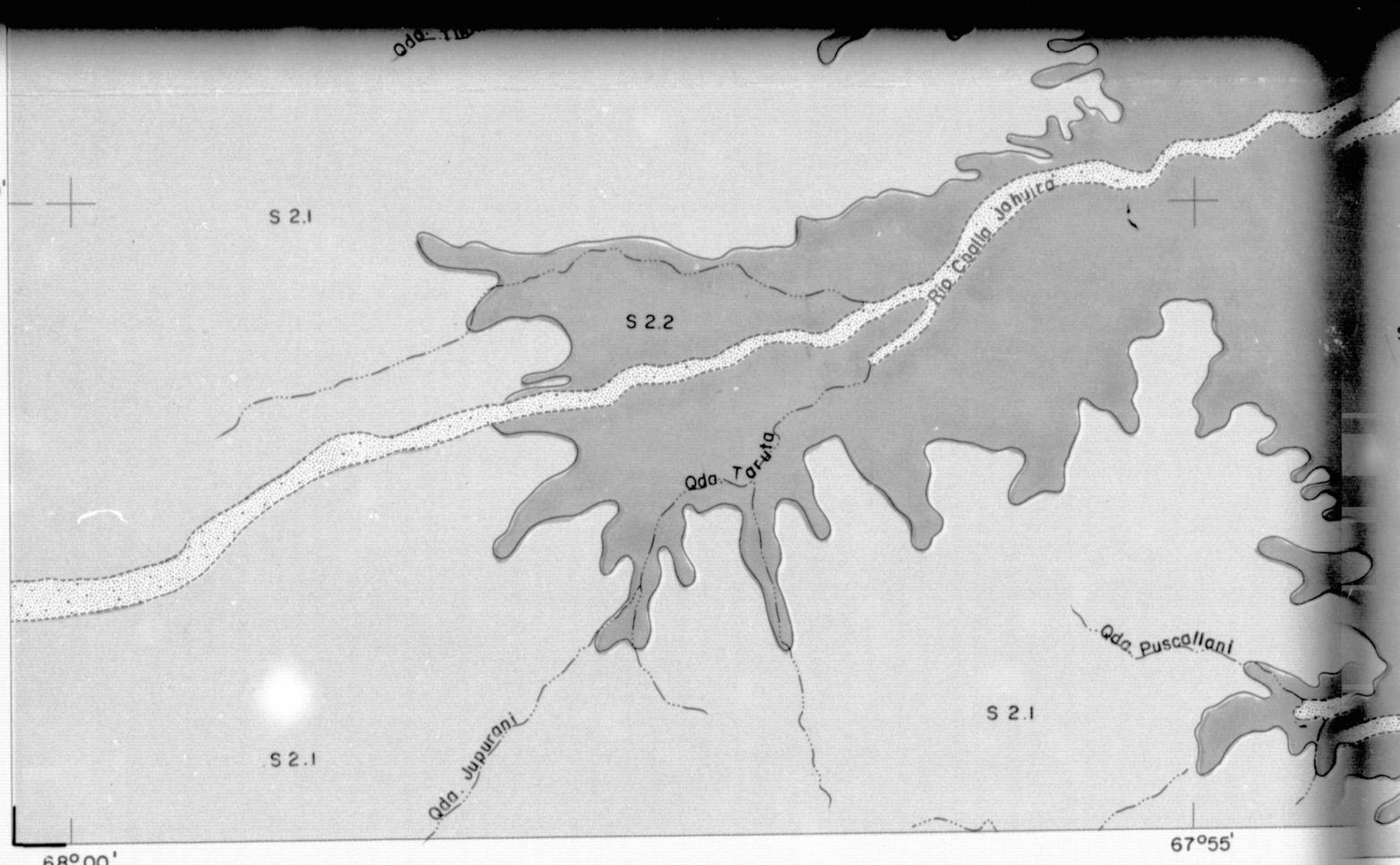
SUR

2

FOLDOUT FRAME 3

MAPA DIGITAL
EXPERIMENTAL





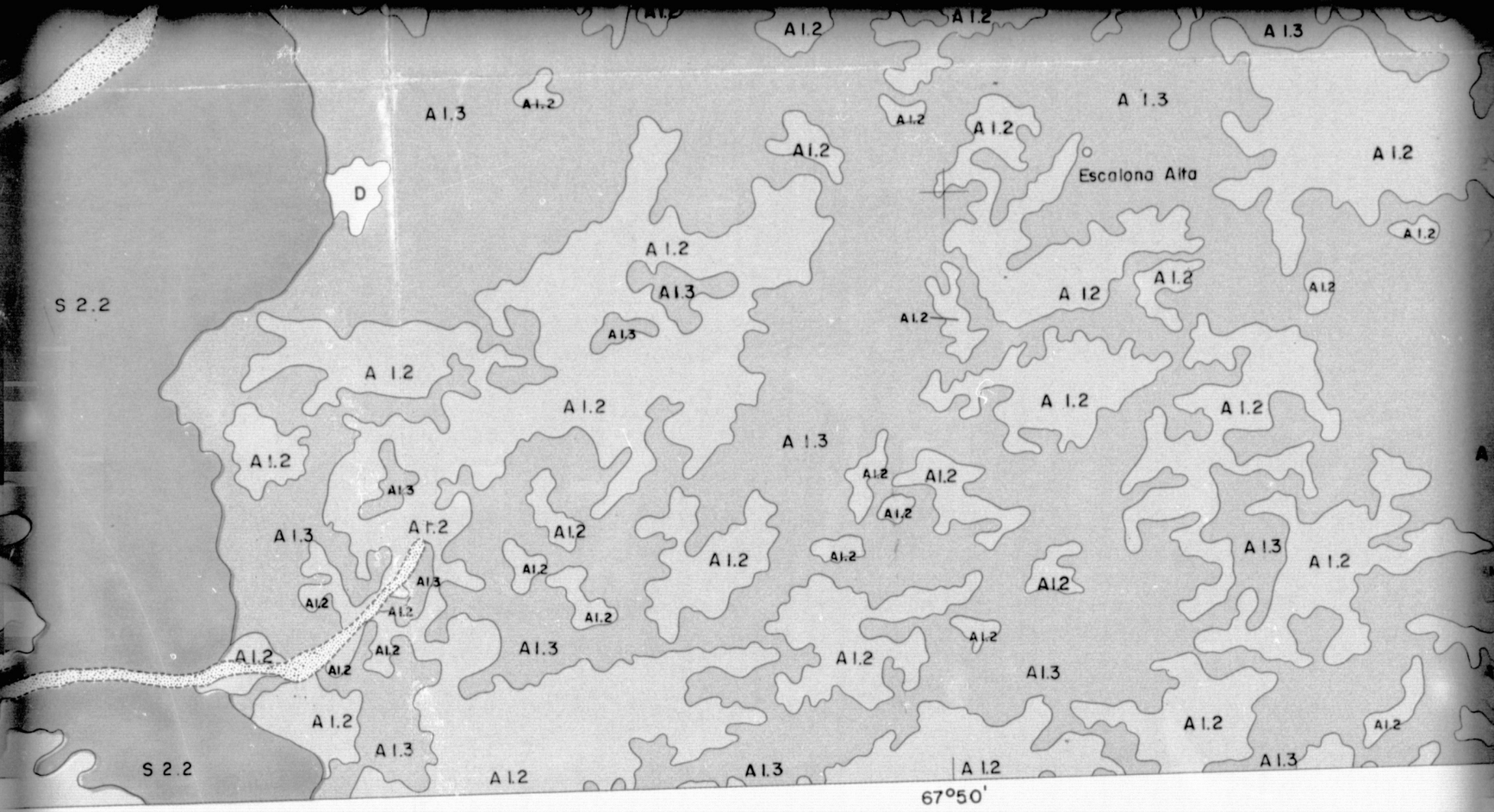
EDICION 1- P.E.B.

SE SOLICITA A LOS LECTORES QUE ENCUENTREN ERRORES U OMISIONES EN ESTE MAPA, MARCAR LAS CORRECCIONES EN EL MISMO Y ENVIARLO AL DIRECTOR DEL PROGRAMA ERTS, CASILLA 2729 LA PAZ-BOLIVIA. ESTOS MAPAS SERAN DEVUELTOS O SUBSTITUÏDOS SI ASI SE DESEA

LEYENDA, SUELOS

GRAN PAISAJE	PAISAJE	UNIDAD FISIOGRAFICA	UNIDAD DE MAPEO	CLASIFICACION TAXONOMICA	SIMBOLO EN EL MAPA
SERRANIA S	Serranía de Huayllamarca y Laurani S 1	Colinas del Terciario Sedimentario, formado por arenis-cas rojas y blanquesinas intercaladas con lutitas areno - sas. Conglomerados gruesos con estratificaciones de areniscas rojas.	Consociación: Huayllamarca	Lithic Ustochrepts	S 1
	Pie de Serranía S 2	Zonas fuertemente onduladas S 2.1	Consociación Las Lomas	Aridic Haplustalfs	S 2.1
		Zonas fuertemente onduladas S 2.2	Consociación: Tola Pata	Tipic Ustipsamments	S 2.2
LLANURA LACUSTRE ALUVIAL A	Llanura Sub-reciente A 1	Planos Salinos A 1.1	Asociación: Kolla La Cantera La Oveja Chijini	Tipic Salorthids Tipic Natrargids Duric Camborthids Vertic Camborthids	A 1.1
		Planos Moderadamente Salinos	Asociación: Hornillos La Joya	Vertic Camborthids Ustenric Camborthids	A 1.2
		Convexos Escasamente Salinosos a Normales A 1.3	Asociación: Tolar A Tolar B	Ustentic Camborthids Fluventic Ustochrepts	A 1.3
	Llanura Reciente A 2	Planos Salinos A 2.1	Consociación: Castrillo	Tipic Psammaquents	A 2.1

FOLDOUT FRAME 4



Escala 1:50,000

1000 500 0 1000 2000 3000 4000 Metros

1 ½ 0 1 2 3 Millas Terrestres Inglesas

PROYECCION TRANSVERSA DE MERCATOR

SIGNOS CONVENCIONALES

Poblaciones importantes ○

Caminos

Dunas D

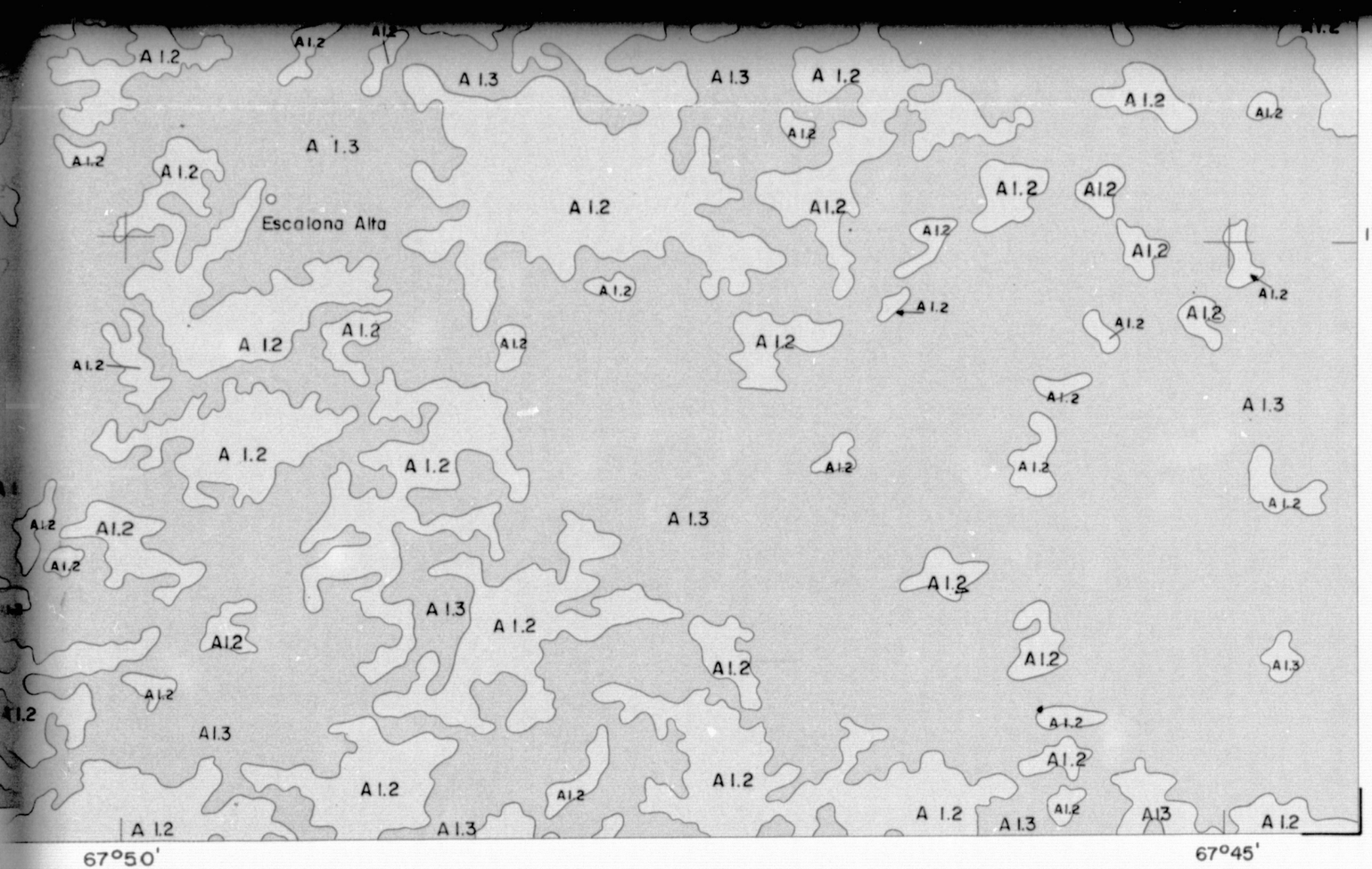
Rios permanentes

Rios intermitentes

Aluvión

Preparado por el Programa del Satélite Tecnológico de Recursos Naturales, ERTS-Bolivia. Elaborado en base a cintas magnéticas del Satélite LANDSAT; procesamiento digital por computadora. Comprobación de campo realizada en 1.977
Base cartográfica: Mapas topográficos escala 1:50.000
Instituto Geográfico Militar.

FOLDOUT FRAME 5



0,000

2000 3000 4000 Metros

2 3 Millas Terrestres Inglesas

LA PAZ -XI-77 IMPRESO POR EDITORIAL "OFFSET COLOR"

RANSVERSA DE MERCATOR

NVENCIONALES

mportantes o

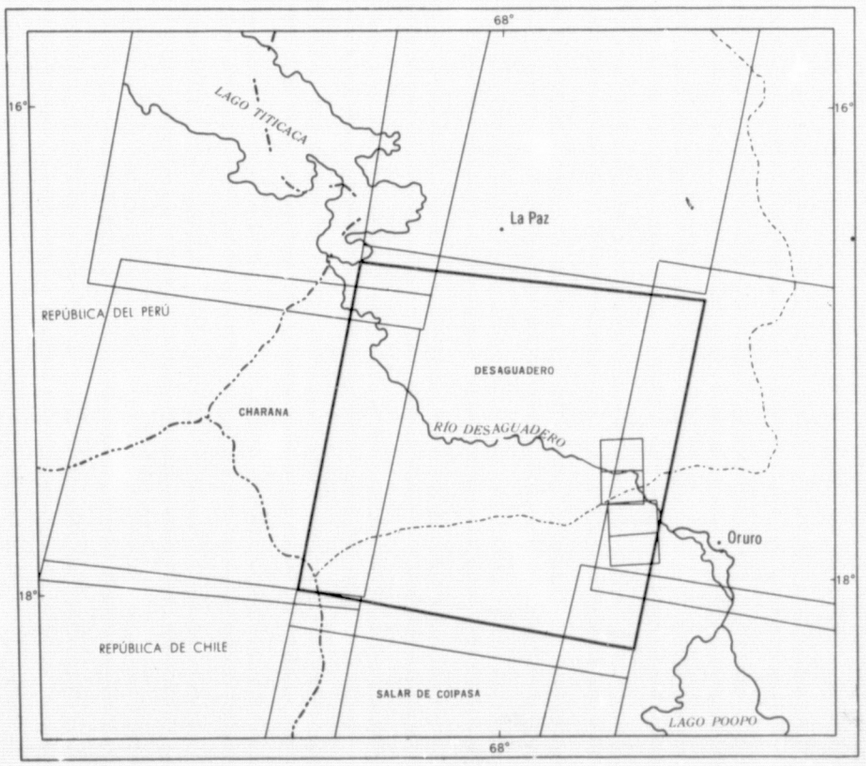
D

ntes

tes

Tecnológico de Recursos Naturales, ERTS-
néticas del Satélite LANDSAT; procesamien-
ón de campo realizada en 1.977
escala 1:50.000

UBICACION IMAGEN DESAGUADERO



FOLDOUT FRAME 6

EUCALIPTUS SUR

REPRODUCIBILITY OF THE
ORIGINAL PAGE IS POOR

67°45'

FOLDOUT FRAME

17°40'

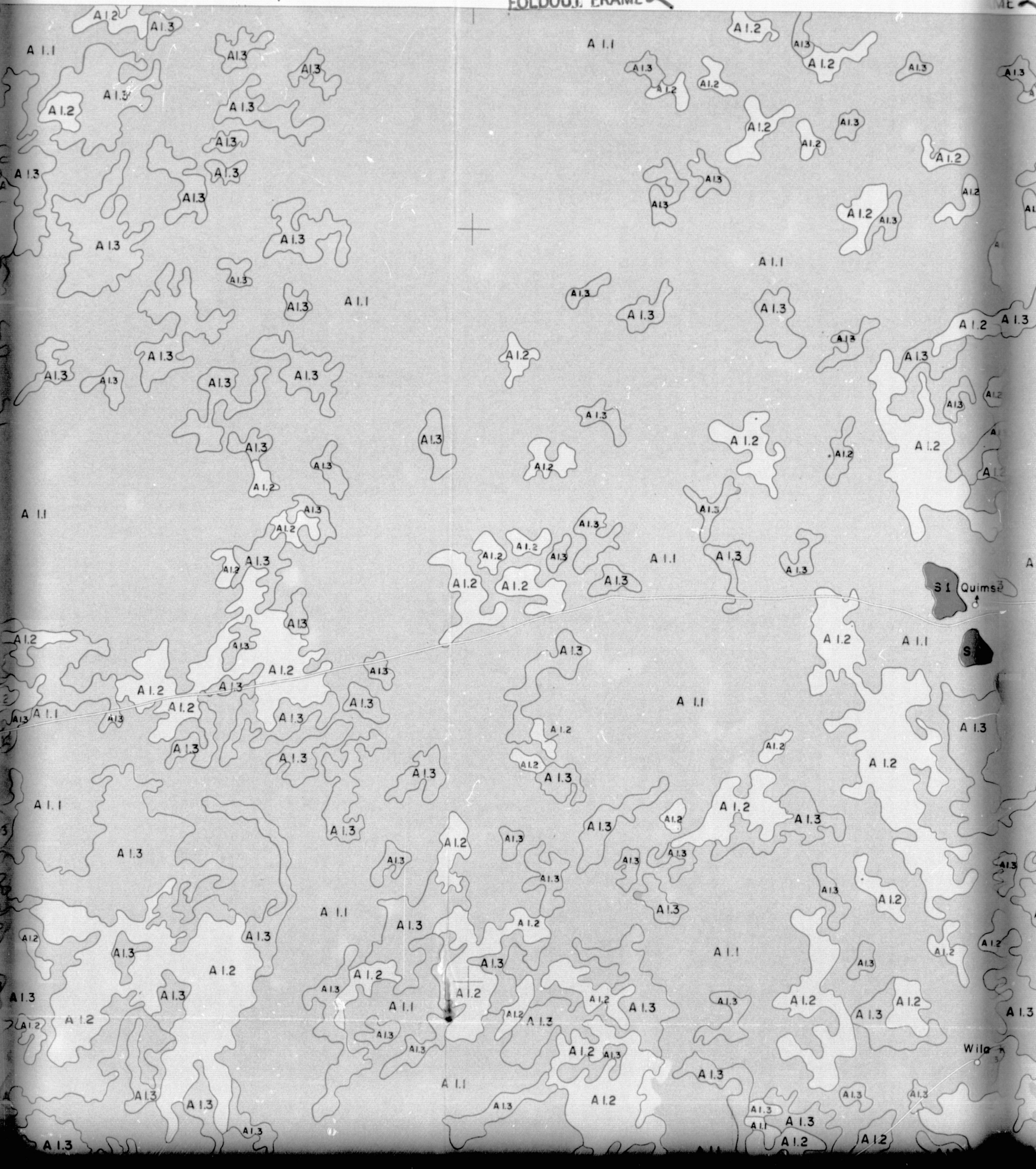
17°50'

Papel Pampa

HUAYLLAMARCA NORTE

67°40'

FOLDOUT FRAME 2

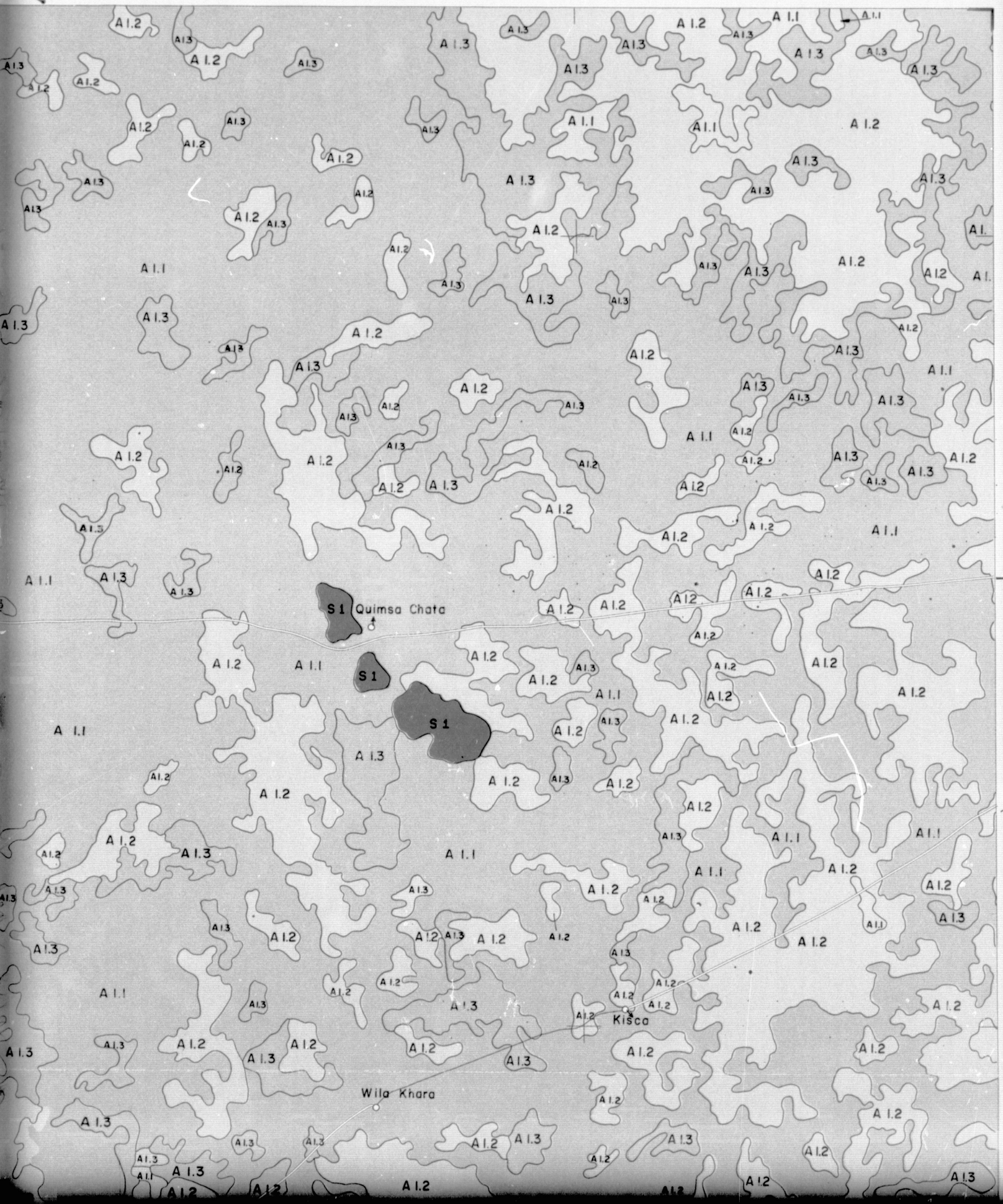


CA NORTE

FOLDOUT FRAME 3

MAPA DIGITAL
EXPERIMENTAL

67°35'



17°50'

Ecia. Chiar Phujo

67°45'

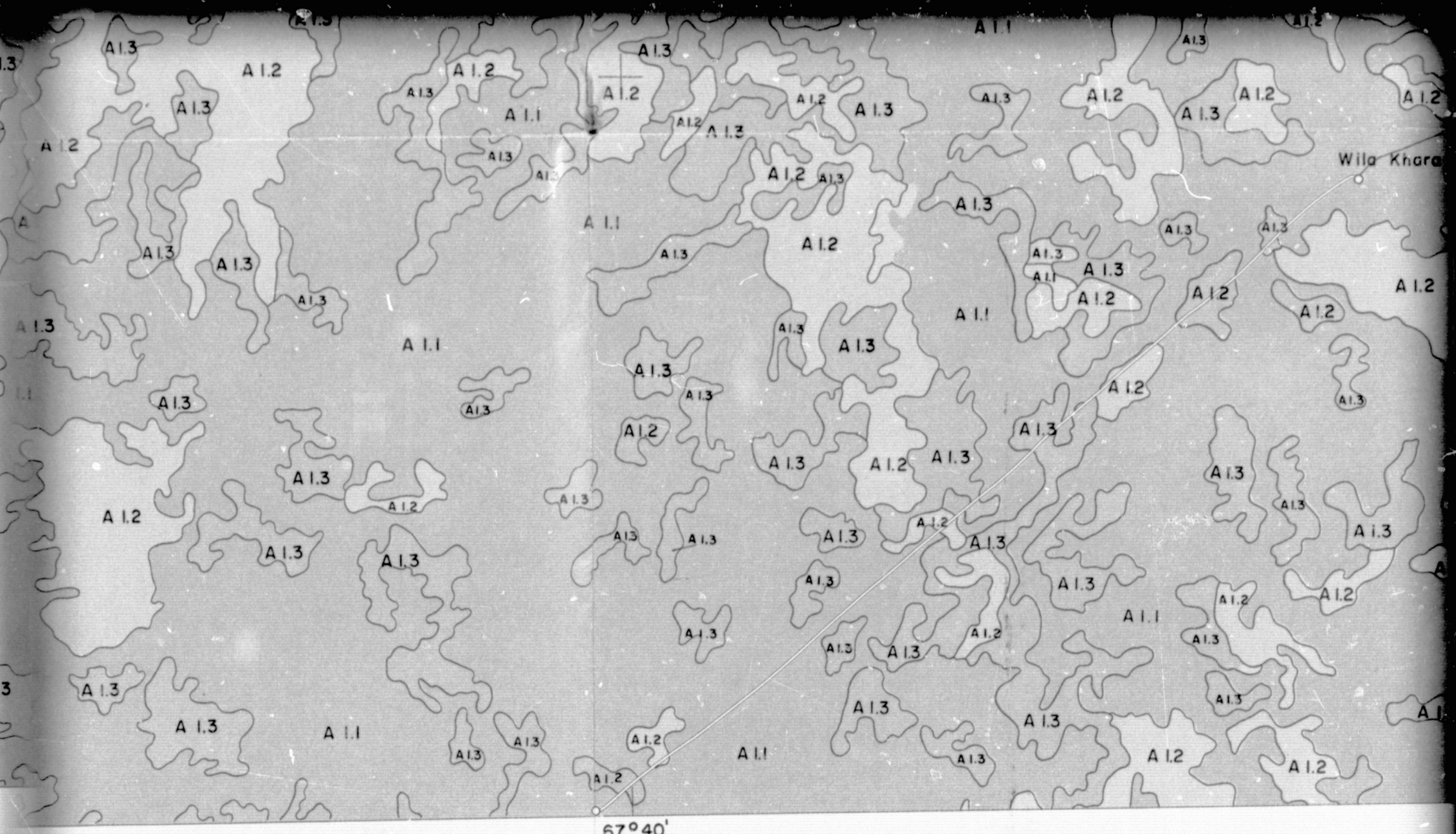
EDICION 1- P.E.B.

SE SOLICITA A LOS LECTORES QUE ENCUENTREN ERRORES U OMISIONES EN ESTE MAPA, MARCAR LAS CORRECCIONES EN EL MISMO Y ENVIARLO AL DIRECTOR DEL PROGRAMA ERTS, CASILLA 2729 LA PAZ-BOLIVIA. ESTOS MAPAS SERAN DEVUELTOS O SUBSTITUIDOS SI ASI SE DESEA

LEYENDA, SUELOS

GRAN PAISAJE	PAISAJE	UNIDAD FISIOGRAFICA	UNIDAD DE MAPEO	CLASIFICACION TAXONOMICA	SIMBOLO EN EL MAPA
SERRANIA S	Serranía de Huayllamarca y Laurani S 1	Colinas del Terciario Sedimentario, formado por arenis-cas rojas y blanquesinas intercaladas con lutitas areno - sas. Conglomerados gruesos con estratificaciones de areniscas rojas.	Consociación: Huayllamarca	Lithic Ustochrepts	S 1
	Pie de Serranía S 2	Zonas fuertemente onduladas S 2.1	Consociación Las Lomas	Aridic Haplustalfs	S 2.1
		Zonas fuertemente onduladas S 2.2	Consociación: Tola Pata	Tipic Ustipsamments	S 2.2
LLANURA LACUSTRE ALUVIAL A	Llanura Sub-reciente A 1	Planos Salinos A 1.1	Asociación: Kolla La Cantera La Oveja Chijini	Tipic Salorthids Tipic Natrargids Duric Camborthids Vertic Camborthids	A 1.1
		Planos Moderadamente Salinos	Asociación: Hornillos La Joya	Vertic Camborthids Ustenric Camporthids	A 1.2
		Convexos Escasamente Salinosos a Normales A 1.3	Asociación: Tolar A Tolar B	Ustentic Camborthids Fluventic Ustochrepts	A 1.3
	Llanura Reciente A 2	Planos Salinos A 2.1	Consociación: Castrillo	Tipic Psammaquents	A 2.1

FOLDOUT FRAME 4



Escala 1:50,000

1000 500 0 1000 2000 3000 4000 Metros

1 ½ 0 1 2 3 Millas Terrestres

ION ICA	SIMBOLO EN EL MAPA.
hrepts	S 1
talfs	S 2.1
mments	S 2.2
thids rgids orthids orthids	A 1.1
thids orthids	A 1.2
orthids ochrepts	A 1.3
equents	A 2.1

PROYECCION TRANSVERSA DE MERCATOR

SIGNOS CONVENCIONALES

Poblaciones importantes o

Caminos

Dunas D

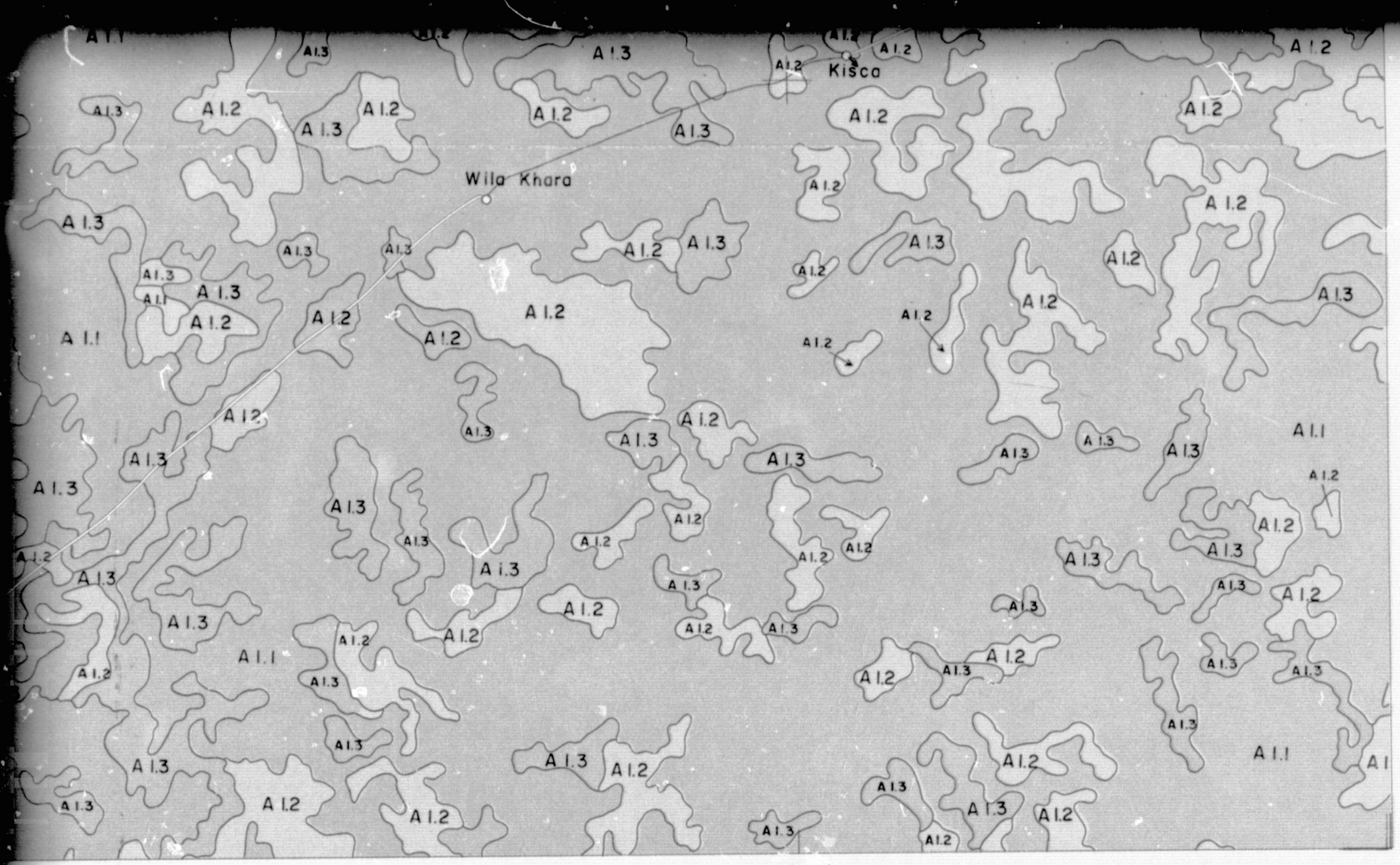
Rios permanentes

Rios intermitentes

Aluvión

Preparado por el Programa del Satélite Tecnológico de Recursos Naturales, ERTS-Bolivia. Elaborado en base a cintas magnéticas del Satélite LANDSAT; procesamiento digital por computadora. Comprobación de campo realizada en 1.977
Base cartográfica: Mapas topográficos escala 1:50.000
Instituto Geográfico Militar.

FOLDOUT FRAME 5



la 1:50,000

2000 3000 4000 Metros

1 2 3 Millas Terrestres Inglesas

IMPRESA EN LOS TALLERES DE INDUSTRIAS OFFSET COLOR S.R.L.
INDABURO 1184 - TEL.: 53258 - LA PAZ - BOLIVIA

ON TRANSVERSA DE MERCATOR

S CONVENCIONALES

ones importantes

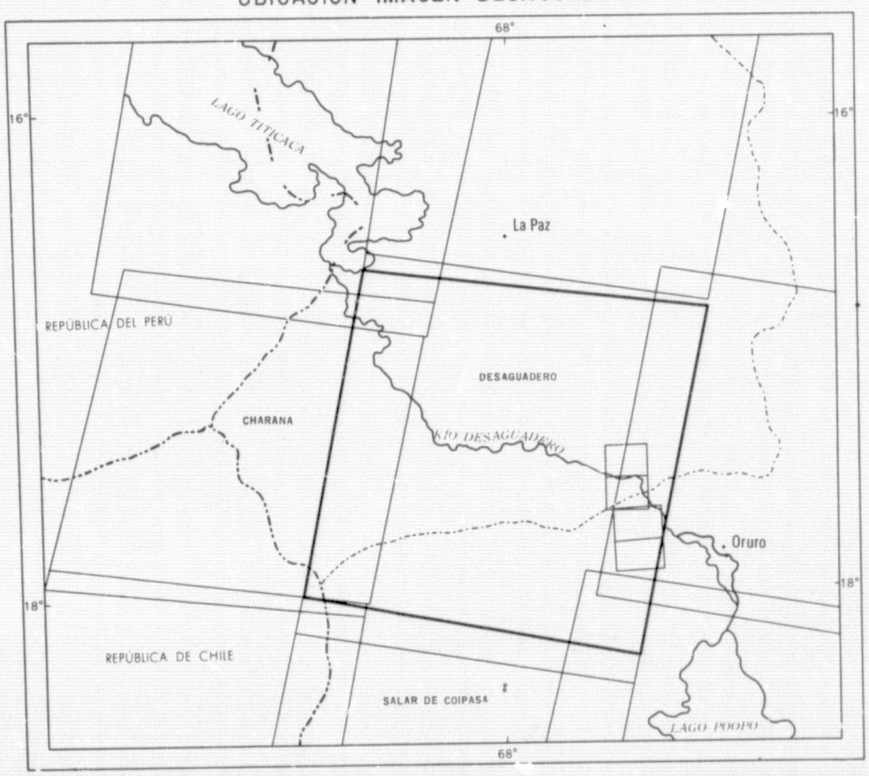
D

rmanentes

rmitentes

atélite Tecnológico de Recursos Naturales, ERTS-
s magnéticas del Satélite LANDSAT; procesamien-
robación de campo realizada en 1.977
icos escala 1:50.000

UBICACION IMAGEN DESAGUADERO



HUAYLLAMARCA NORTE

FOLDOUT FRAME 6

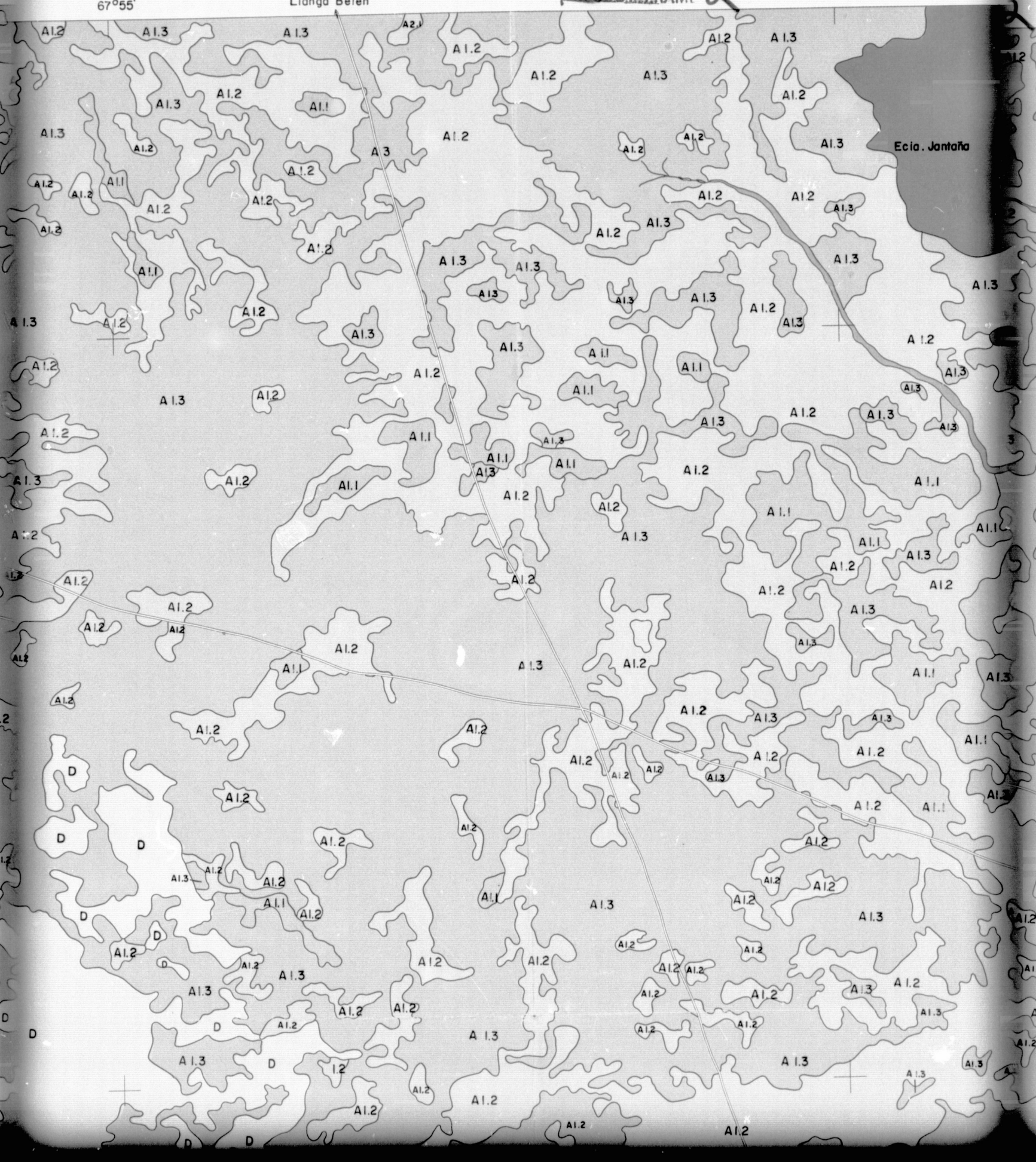
ESTUDIO SEMIDETALLADO DE SUELOS – BOLIVIA 1:50.000 EDICION 1-P.E.B.

REPRODUCIBILITY OF THE ORIGINAL PAGE IS POOR

FOLDOUT FRAME 1

1-P.E.B.

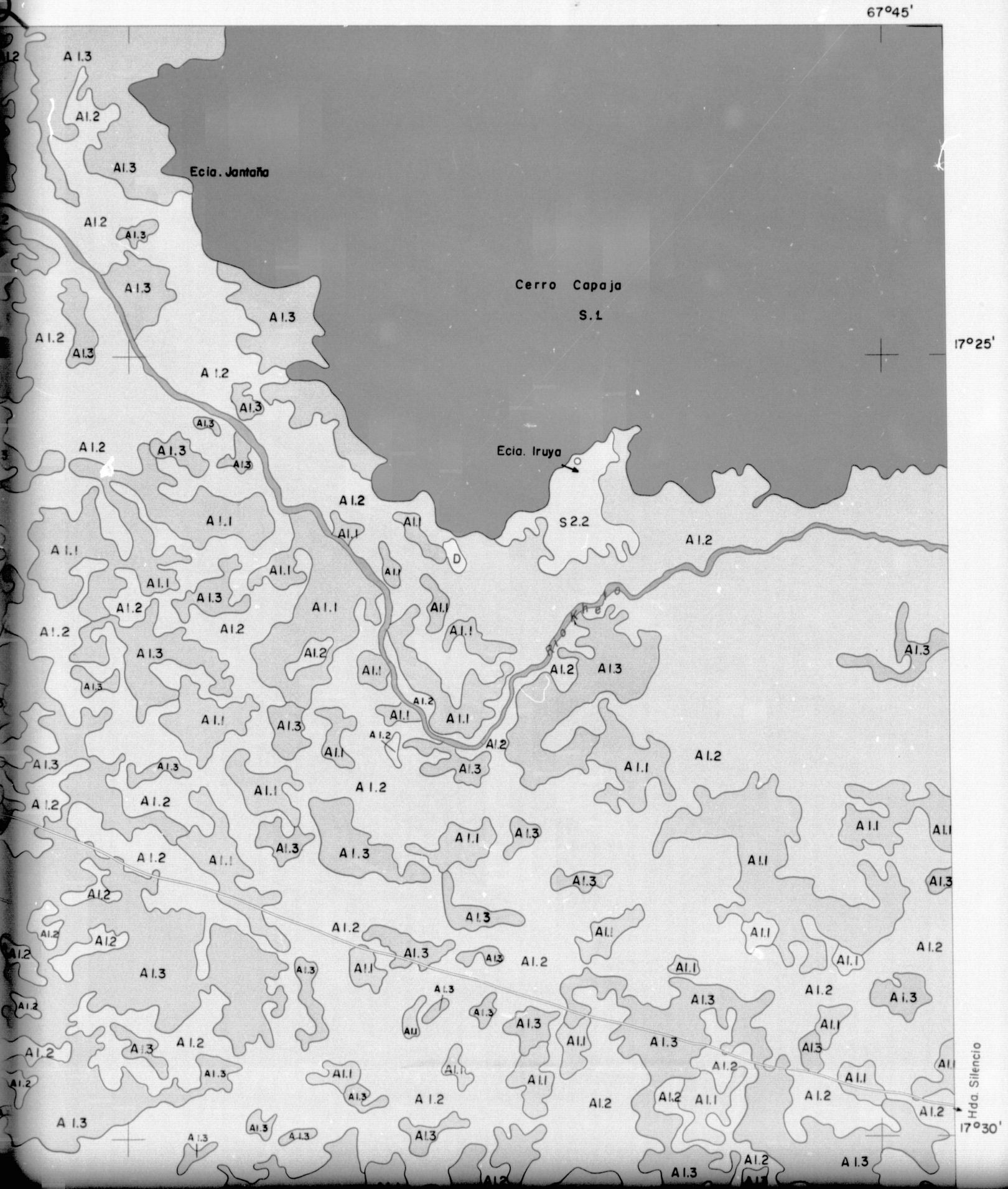
EUCALIPTUS NORTE

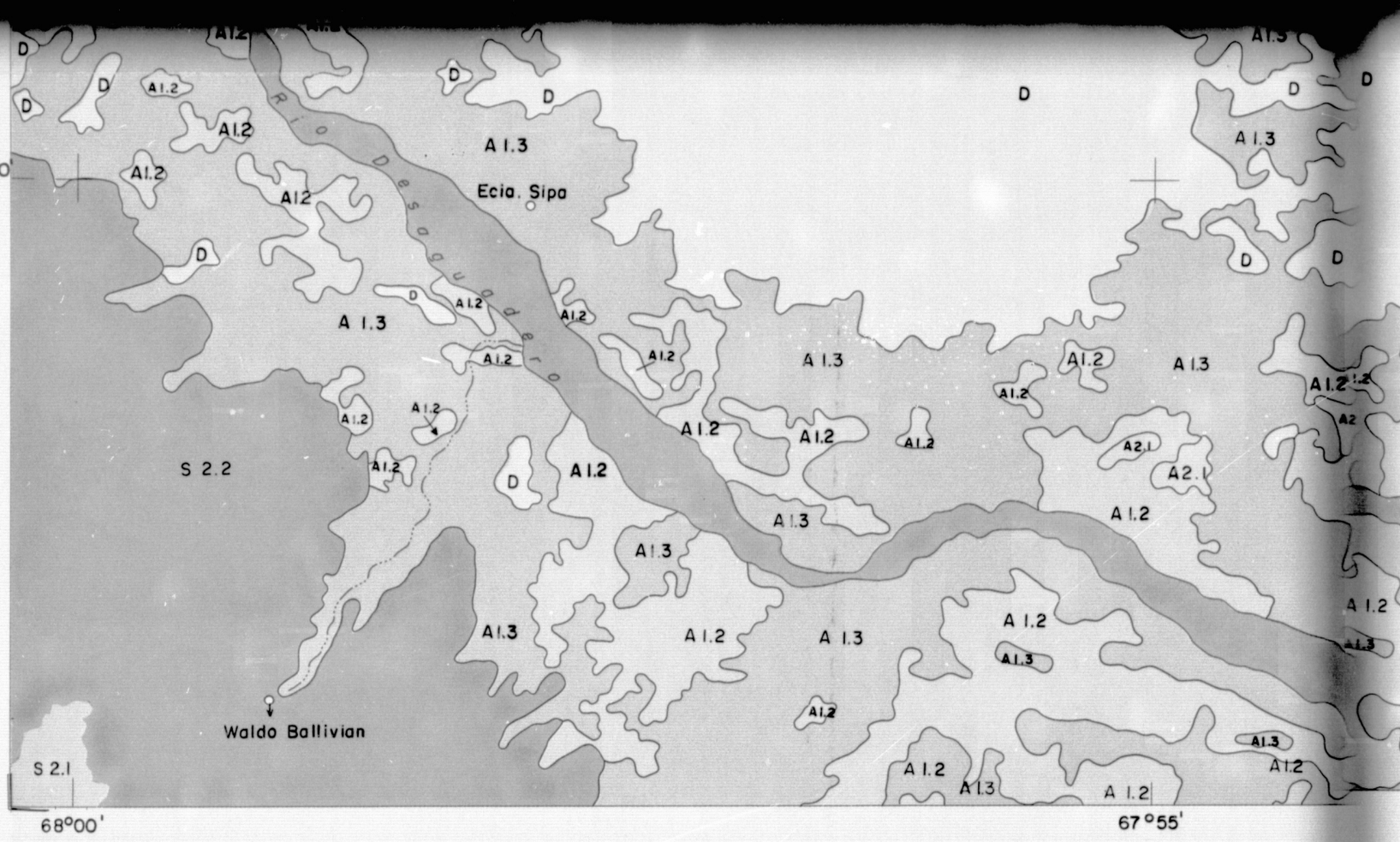


ORTE

FOLDOUT FRAME 3

MAPA DIGITAL
EXPERIMENTAL





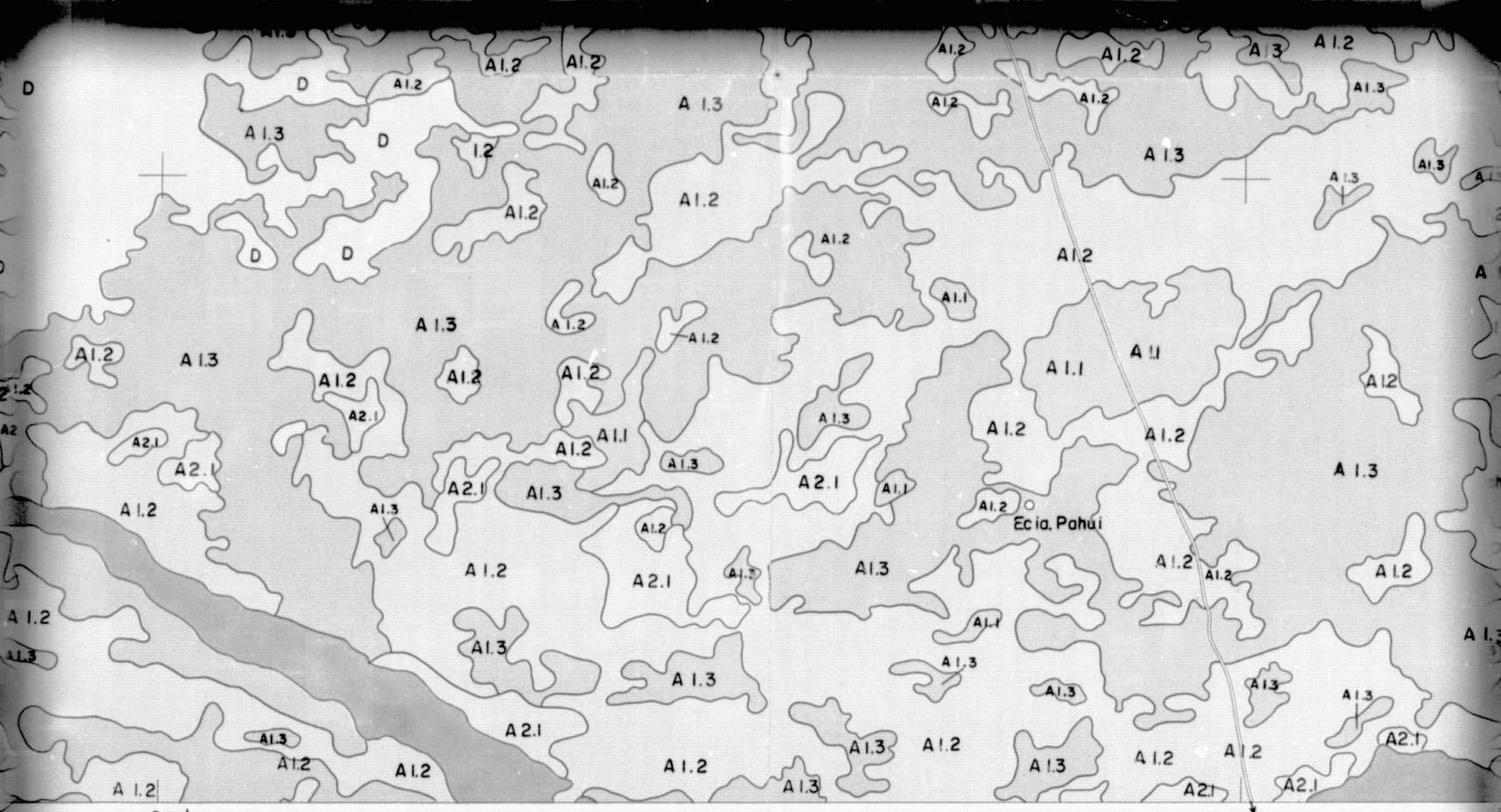
EDICION 1- P.E.B.

SE SOLICITA A LOS LECTORES QUE ENCUENTREN ERRORES U OMISIONES EN ESTE MAPA, MARCAR LAS CORRECCIONES EN EL MISMO Y ENVIARLO AL DIRECTOR DEL PROGRAMA ERTS, CASILLA 2729 LA PAZ-BOLIVIA. ESTOS MAPAS SERAN DEVUELTOS O SUBSTITUIDOS SI ASI SE DESEA

LEYENDA, SUELOS

GRAN PAISAJE	PAISAJE	UNIDAD FISIOGRAFICA	UNIDAD DE MAPEO	CLASIFICACION TAXONOMICA	SIMBOLO EN EL MAPA
SERRANIA S	Serranía de Huayllamarca y Laurani S 1	Colinas del Terciario Sedimentario, formado por areniscas rojas y blanquesinas intercaladas con lutitas arenosas. Conglomerados gruesos con estratificaciones de areniscas rojas.	Consociación: Huayllamarca	Lithic Ustochrepts	S 1
	Pie de Serranía S 2	Zonas fuertemente onduladas S 2.1	Consociación Las Lomas	Aridic Haplustalfs	S 2.1
		Zonas fuertemente onduladas S 2.2	Consociación: Tola Pata	Tipic Ustipsamments	S 2.2
LLANURA LACUSTRE ALUVIAL A	Llanura Sub-reciente A 1	Planos Salinos A 1.1	Asociación: Kolla La Cantera La Oveja Chijini	Tipic Salorthids Tipic Natrargids Duric Camborthids Vertic Camborthids	A 1.1
		Planos Moderadamente Salinos	Asociación: Hornillos La Joya	Vertic Camborthids Ustenric Camborthids	A 1.2
		Convexos Escasamente Salinosos a Normales A 1.3	Asociación: Tolar A Tolar B	Ustentic Camborthids Fluventic Ustochrepts	A 1.3
	Llanura Reciente A 2	Planos Salinos A 2.1	Consociación: Castrillo	Tipic Psammaquents	A 2.1

FOLDOUT FRAME 4



Escala 1:50,000

1000 500 0 1000 2000 3000 4000 Metros

1 ½ 0 1 2 3

CLASIFICACION TAXONOMICA	SIMBOLO EN EL MAPA
Lithic Ustochrepts	S 1
Aridic Haplustalfs	S 2.1
Tipic Ustipsamments	S 2.2
Tipic Salorthids Tipic Natrargids Duric Camborthids Vertic Camborthids	A 1.1
Vertic Camborthids Ustentic Camborthids	A 1.2
Ustentic Camborthids Fluventic Ustochrepts	A 1.3
Tipic Psammaquents	A 2.1

PROYECCION TRANSVERSA DE MERCATOR

SIGNOS CONVENCIONALES

Poblaciones importantes o

Caminos

Dunas D

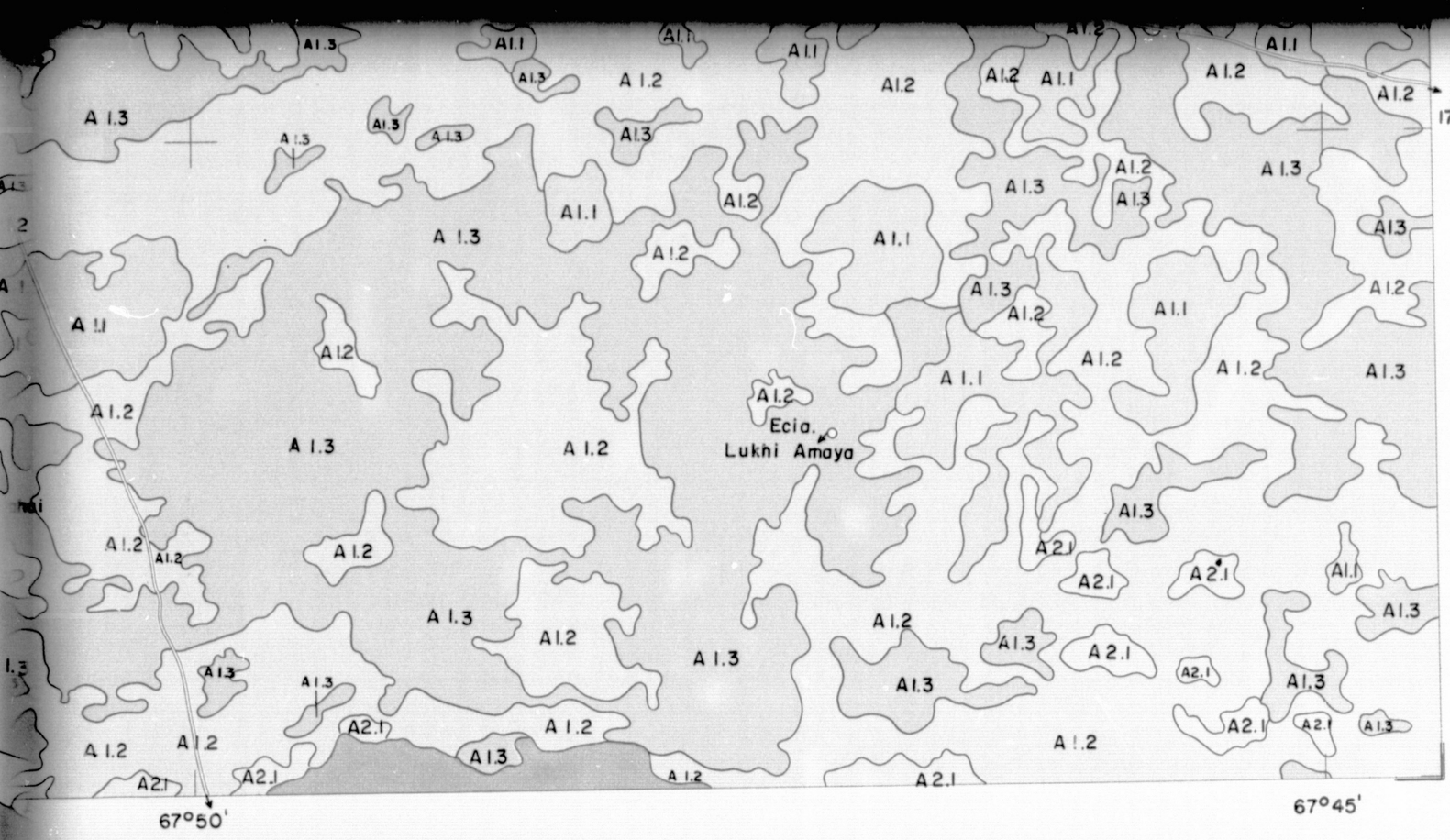
Rios permanentes

Rios intermitentes

Aluvión

Preparado por el Programa del Satélite Tecnológico de Recursos Naturales, ERTS-Bolivia. Elaborado en base a cintas magnéticas del Satélite LANDSAT; procesamiento digital por computadora. Comprobación de campo realizada en 1.977
Base cartográfica: Mapas topográficos escala 1:50.000
Instituto Geográfico Militar.

FOLDOUT FRAME 5



1:50,000

2000 . 3000 4000 Metros

1 2 3 Millas Terrestres Inglesas

LA PAZ-XI-77 IMPRESO POR EDITORIAL "OFFSET COLOR"

ON TRANSVERSA DE MERCATOR

S CONVENCIONALES

ones importantes

D

rmanentes

rmitentes

UBICACION IMAGEN DESAGUADERO

atélite Tecnológico de Recursos Naturales, ERTS-
s magnéticas del Satélite LANDSAT; procesamien-
S- robación de campo realizada en 1.977
n- cos escala 1:50.000

EUCALIPTUS NORTE

FOLDOUT FRAME 6