



Department of Geography



SAN DIEGO STATE
UNIVERSITY

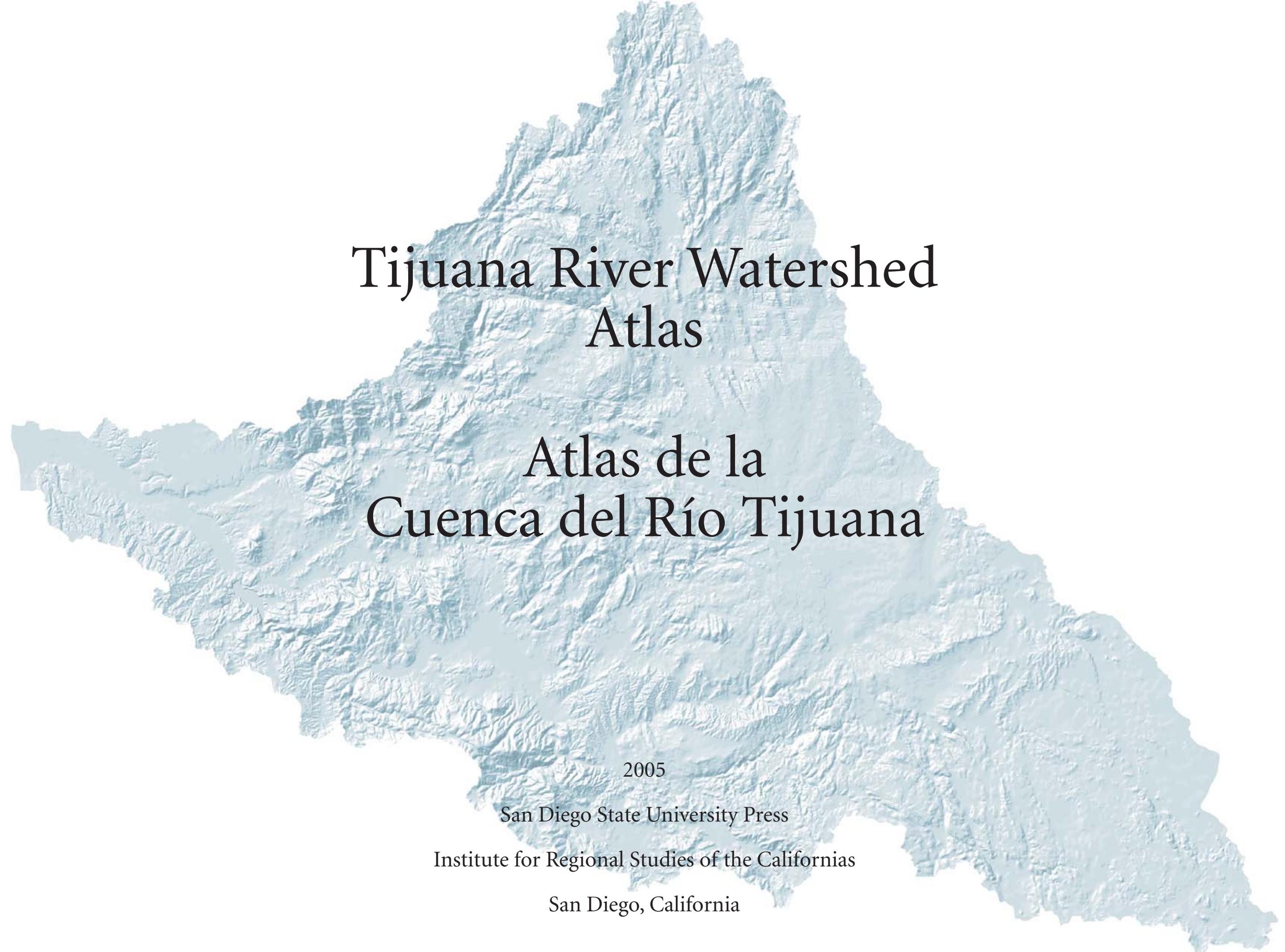
Institute for Regional Studies
of the Californias

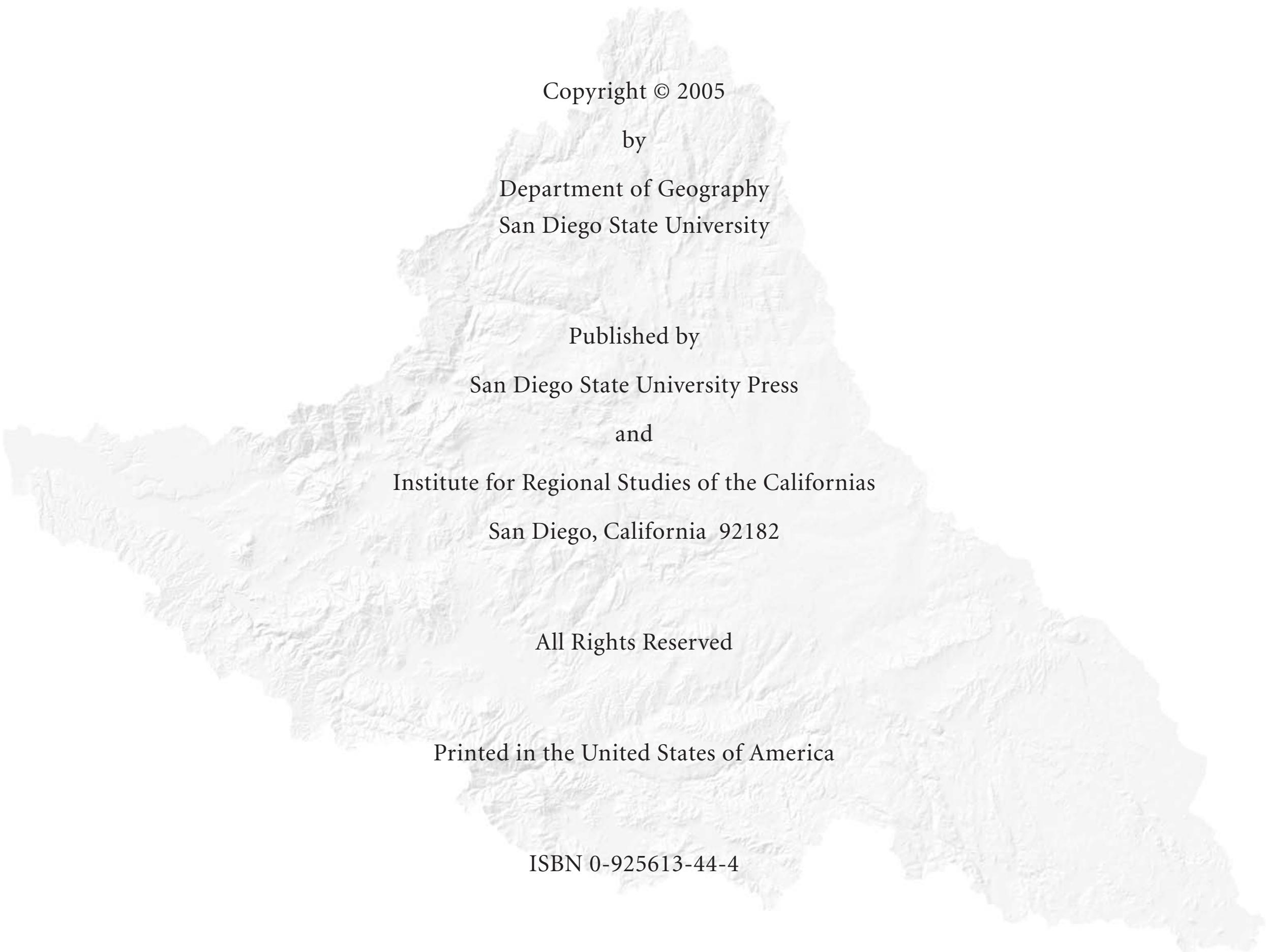


CONSORCIO DE INVESTIGACION Y POLITICA AMBIENTAL DEL SUROESTE
SOUTHWEST CONSORTIUM FOR ENVIRONMENTAL RESEARCH & POLICY



El Colegio
de la Frontera
Norte





Copyright © 2005

by

Department of Geography
San Diego State University

Published by

San Diego State University Press

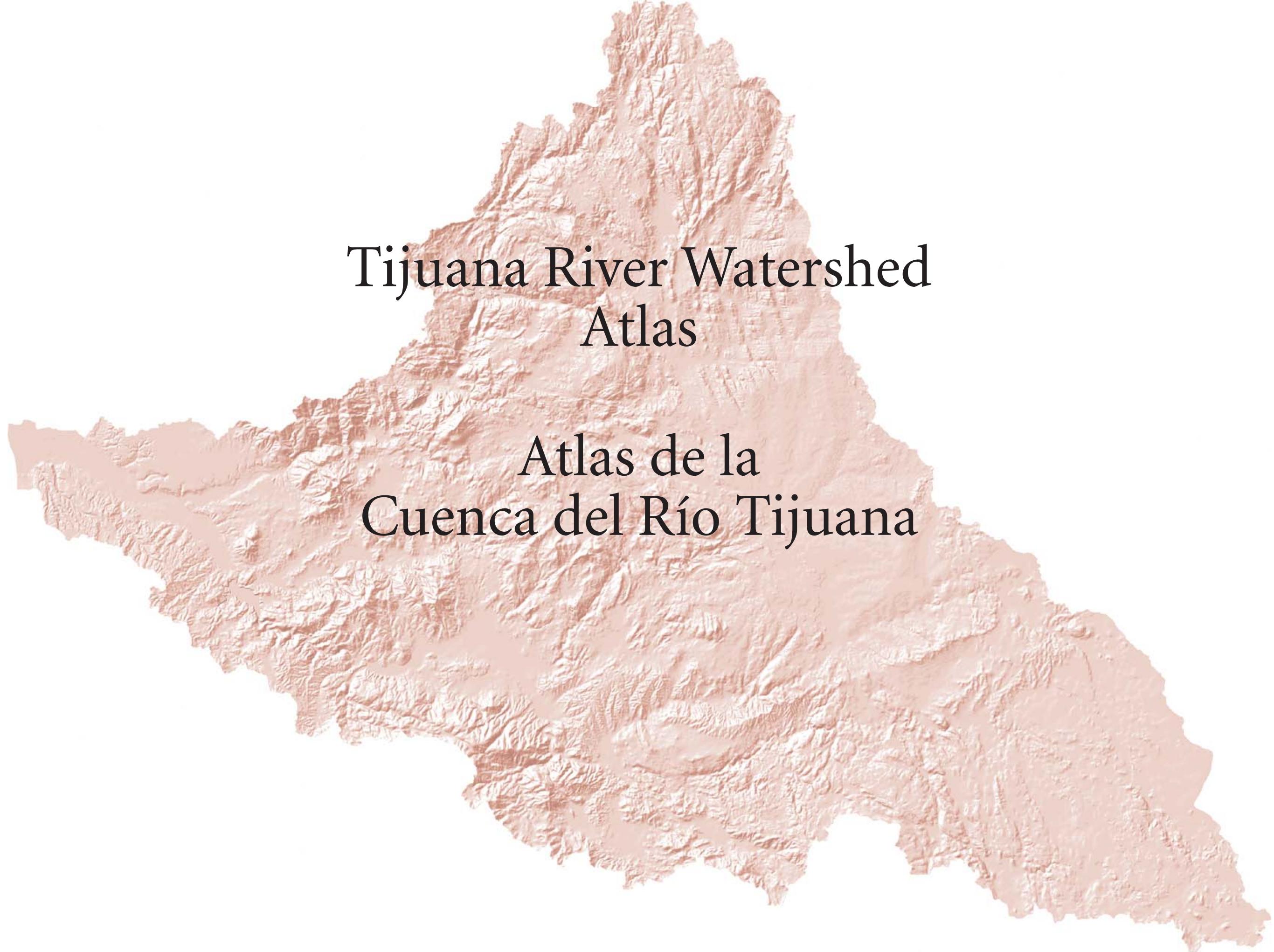
and

Institute for Regional Studies of the Californias
San Diego, California 92182

All Rights Reserved

Printed in the United States of America

ISBN 0-925613-44-4



Tijuana River Watershed Atlas

Atlas de la
Cuenca del Río Tijuana

General Editors – Coordinadores Generales

Richard D. Wright, San Diego State University
Rafael Vela, El Colegio de la Frontera Norte

Text Editor – Editor de Texto

Paul Ganster, San Diego State University

Translation – Traducción

Bertha Hernández, San Diego State University
Angélica Villegas, San Diego State University

Spatial Data Editors – Coordinadores de Información Espacial

Richard D. Wright, San Diego State University
Rafael Vela, El Colegio de la Frontera Norte

Collaborating Authors – Autores Colaboradores

Edward Aguado, San Diego State University; David Askov, San Diego State University; Kurtis S. Baron, San Diego State University; Thomas A. Deméré, San Diego Natural History Museum; Paul Ganster, San Diego State University; Richard Gersberg, San Diego State University; Ned Greenwood, San Diego State University; Jon Jamieson, California Water Environment Association, San Diego; Jim King, California State Coastal Conservancy; John O’Leary, San Diego State University; Philip Pryde, San Diego State University; Oscar Romo, Tijuana River National Estuarine Research Reserve; Phillip Roullard, Tijuana River National Estuarine Research Reserve; Marlene Solís, El Colegio de la Frontera Norte; Alan Sweedler, San Diego State University; Rafael Vela, El Colegio de la Frontera Norte; Michael Wilken, Native Cultures Institute of Baja California; Alain Winckell, Institut de Recherche pour le Développement; Richard D. Wright, San Diego State University

Cartography – Cartografía

Chief Cartographer – Cartógrafo Principal
Harry D. Johnson, San Diego State University
Cartographers – Cartógrafos

David Dow, San Diego State University; Andrew Gordon, San Diego State University; David Lindsay, San Diego State University;
Kristen O’Grady, San Diego State University; Molly Schmelzle, San Diego State University

Funding Sources – Fuentes de Financiamiento

Atlas research and publication were supported through funding from the Southwest Consortium for Environmental Research and Policy (SCERP); the U.S. Environmental Protection Agency (EPA); the U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA); and the Center for Earth Systems Analysis Research (CESAR), Department of Geography, and Institute for Regional Studies of the Californias (IRSC) from San Diego State University.

El apoyo de la investigación y publicación de este atlas fue por medio de fondos del Consorcio de Investigación y Política Ambiental del Suroeste (CIPAS); la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, en inglés); la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, en inglés) de los Estados Unidos; y el Centro de Investigación de Análisis de Sistemas de la Tierra (CESAR, en inglés), el Departamento de Geografía y el Instituto de Estudios Regionales de las Californias (IRSC, en inglés) de la Universidad Estatal de San Diego.

Contents

Contenido

Plate	Author	Ilustración	Autor
iii Foreword		iii Prefacio	
iv Acknowledgements		iv Reconocimientos	
1 Tijuana River Watershed	Paul Ganster	1 La Cuenca del Río Tijuana	Paul Ganster
3 Location	Richard D. Wright	3 Ubicación	Richard D. Wright
Section One: Physical Characteristics			
4 Physical Characteristics	Richard D. Wright	4 Características Físicas	Richard D. Wright
5 Topography	Richard D. Wright	5 Topografía	Richard D. Wright
6 Geology	Thomas A. Deméré	6 Geología	Thomas A. Deméré
7 Geomorphology	Alain Winckell	7 Geomorfología	Alain Winchell
8 Soils	Ned Greenwood	8 Suelos	Ned Greenwood
9 Soils: Integrated Predictive Model	David Askov	9 Suelos: Modelo Integrado Predecible	David Askov
10 Temperature	Edward Aguado	10 Temperatura	Edward Aguado
11 Precipitation	Edward Aguado	11 Precipitación	Edward Aguado
12 Precipitation: Modeled Mean	Kurtis S. Baron	12 Precipitación: Media Modelada	Kurtis S. Baron
13 Hydrography	Richard D. Wright	13 Hidrografía	Richard D. Wright
14 Vegetation	John O'Leary	14 Vegetación	John O'Leary
Section Two: Human and Environmental Characteristics			
16 Human and Environmental Characteristics	Richard D. Wright	16 Características Humanas y Ambientales	Richard D. Wright
17 Population	Richard D. Wright	17 Población	Richard D. Wright
18 Indigenous Population	Michael Wilken	18 Población Indígena	Michael Wilken
19 Land Use	Richard D. Wright	19 Usos del Suelo	Richard D. Wright
20 Transportation	Marlene Solís	20 Transporte	Marlene Solís
21 Vegetation Change	Rafael Vela	21 Cambios en la Vegetación	Rafael Vela
22 Population Density	Rafael Vela	22 Densidad Poblacional	Rafael Vela
23 Urban Growth	Rafael Vela	23 Crecimiento Urbano	Rafael Vela
24 Satellite Image: SPOT 1995	Rafael Vela	24 Imagen de Satélite: SPOT 1995	Rafael Vela

Contents

Contenido

Plate	Author	Ilustración	Autor
25 Satellite Image: LANDSAT 2000	Rafael Vela	25 Imagen de Satélite: LANDSAT 2000	Rafael Vela
26 Land Use 2000	Rafael Vela	26 Usos del Suelo 2000	Rafael Vela
27 Land Use 2025/2030	Rafael Vela	27 Usos del Suelo 2025/2030	Rafael Vela
28 Water Quality	Richard Gersberg	28 Calidad del Agua	Richard Gersberg
29 Air Quality	Alan Sweedler	29 Calidad del Aire	Alan Sweedler
30 Flooding	Rafael Vela	30 Inundaciones	Rafael Vela
Section Three: Lower Tijuana River Valley			
31 Tijuana River Estuary	Phillip Roulland	31 Estuario del Río Tijuana	Philip Roulland
33 Lower Tijuana River Valley	Philip Pryde (Flooding) Jon Jamieson (Water Quality) Oscar Romo (Goat Canyon) Jim King (Border Fencing, Estuary Restoration)	33 Parte Baja del Valle del Río Tijuana	Philip Pryde (Inundaciones) Jon Jamieson (Calidad del Agua) Oscar Romo (Cañón de Los Laureles) Jim King (Cercado Fronterizo, Restauración del Estuario)
34 Land Ownership		34 Tenencia de la Tierra	
35 Canyon Land Use		35 Usos del Suelo en los Cañones	
36 Tijuana River National Estuarine Research Reserve		36 Reserva Nacional de Investigación del Estuario del Río Tijuana	
Sources			
37 Text Sources		37 Fuentes de Textos	
38 Data Sources		38 Fuentes de Datos	

Foreword

We are pleased to present the *Tijuana River Watershed Atlas*. This atlas had its beginnings in 1994 when the presidents of San Diego State University (SDSU) and El Colegio de la Frontera Norte (COLEF) signed a memorandum of understanding (MOU) committing the two institutions to cooperate in the development of a comprehensive geographic information systems (GIS) for the Tijuana River Watershed. This agreement provided for coordinated data development, data sharing, and joint use of the data for research and education. The agreement led, in turn, to the participation of the United States National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) in significant ways, including start-up funding for database preparation, a flight of NOAA aircraft that generated large-scale aerial photography of the watershed, and the active support of NOAA personnel in the project. The following year, SDSU participated in a partnership with the San Diego Association of Governments (SANDAG) for the purchase of SPOT panchromatic and multispectral satellite imagery that included both the United States and Mexican portions of the watershed. The 1994 aerial photography, 1995 satellite imagery, existing maps, and field mapping provided the source data for the Tijuana River Watershed GIS database, a pioneering binational effort to integrate social, political, economic, and environmental spatial digital data across the border.

Early on, project members strongly believed that a high priority of the GIS should be to inform educators, students, government officials, private sector individuals, and other stakeholders about the characteristics, upstream-downstream and cross-border relationships, and interdependencies in the watershed. To this end, the project team produced a large multicolored poster map of the TRW and an educational CD, with funding provided by SANDAG, SDSU, and the Southwest Consortium for Environmental Research and Policy (SCERP). The poster—which has been widely distributed to schools and government agencies in the San Diego-Tijuana region—has been a very effective vehicle for visualizing the watershed. In addition, the team began producing a number of separate thematic maps of the watershed. This atlas is the culmination of the team's effort to assist interested individuals in visualizing and understanding geographical relationships in the watershed.

We hope that this atlas will demonstrate the cross-border interdependencies that exist in the watershed and encourage decision makers, researchers, and others to seek binational approaches in solving the basin's problems.

Jorge Santibáñez, President, El Colegio de la Frontera Norte
Stephen Weber, President, San Diego State University

Prólogo

Nos es grato presentar el *Atlas de la Cuenca del Río Tijuana*. Este atlas tuvo su inicio en 1994 cuando los presidentes de San Diego State University (SDSU) y de El Colegio de la Frontera Norte (COLEF) firmaron un memorándum de acuerdo que comprometía a ambas instituciones a colaborar en el desarrollo de un sistema de información geográfica (SIG) para la Cuenca del Río Tijuana. Este acuerdo estipulaba el desarrollo de información coordinada, el intercambio de datos y el uso compartido de los datos de investigación y educación. A su vez, el acuerdo resultó con la importante participación de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, en inglés) de los Estados Unidos, incluyendo su aportación de fondos iniciales para la preparación de una base de datos, el vuelo de una aeronave de NOAA que generó fotografías aéreas en gran escala de la cuenca y el apoyo activo del personal de NOAA en el proyecto. Al año siguiente, la SDSU junto con la Asociación de Gobiernos de San Diego (SANDAG, en inglés) colaboraron en la compra de imágenes pancromáticas y multiespectrales del satélite SPOT que incluyen las porciones estadounidenses y mexicanas de la cuenca. Las fotografías aéreas de 1994, las imágenes satelitales de 1995, los mapas en existencia y la cartografía de los campos proporcionaron las fuentes de datos para la base de datos SIG de la Cuenca del Río Tijuana. Éste fue un esfuerzo binacional innovador que integra a través de la frontera la información digital espacial social, política, económica y ambiental.

Desde un principio, los miembros del proyecto creyeron firmemente que una de las prioridades más importantes del SIG debía ser informar a los educadores, estudiantes, funcionarios gubernamentales, personas del sector privado y otras personas interesadas acerca de las características, relaciones transfronterizas aguas arriba y aguas abajo y las interdependencias en la cuenca. Con este propósito, el equipo del proyecto produjo un póster grande multicolor del mapa de la CRT y un disco compacto educativo con financiamiento aportado por SANDAG, SDSU y el Consorcio de Investigación y Política Ambiental del Suroeste (CIPAS). El póster—el cual ha sido distribuido ampliamente en escuelas y organismos de gobierno en la región San Diego y Tijuana—ha sido un instrumento muy efectivo para visualizar a la cuenca. Asimismo, el equipo empezó a producir un número de mapas temáticos individuales de la cuenca. Este atlas es la culminación del esfuerzo del equipo para asistir a las personas interesadas en visualizar y comprender las relaciones geográficas en la cuenca.

Esperamos que este atlas demuestre las interdependencias transfronterizas que existen en la cuenca. Esperamos también que exhorta a las personas responsables de adoptar decisiones, a los investigadores, entre otros, a buscar enfoques binacionales para solucionar los problemas de la cuenca.

Stephen Weber, Presidente, San Diego State University
Jorge Santibáñez, Presidente, El Colegio de la Frontera Norte

Acknowledgements

This atlas is the result of the collaboration of many organizations and dedicated, talented individuals from the United States and Mexico. Their contributions to the Tijuana River Watershed GIS database and this atlas are gratefully acknowledged.

Foremost among all contributors is Harry D. Johnson (San Diego State University) who is the chief cartographer for this work. Along with Richard Wright (San Diego State University) and Rafael Vela (El Colegio de la Frontera Norte), Johnson is responsible for database development, GIS analysis, cartographic design, and the selection of atlas content. In these activities, he has collaborated principally with David Dow, Ross Miles, and Kristen O'Grady, all of San Diego State University.

Early and continuous support and encouragement for the Tijuana River Watershed GIS and atlas project have been provided by Nina Garfield, Katie Ries, and many other members of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), including Ed Allen, Mike Aslaksen, John Klein, Steve Morrison, Percy Pacheco, and Dave Zilkoski.

Early development of the Tijuana River Watershed GIS was also made possible through a cooperative agreement between COLEF and the Institut Francais de Recherche en Cooperation (now the Institut de Recherche pour le Développement or IRD). Alain Winckell and Michel Le Page of IRD provided the leadership and technical expertise that were essential elements in the creation of the GIS.

The financial support provided for this project by Southwest Consortium for Environment Research and Policy (SCERP) has been significant and ongoing. Especially important has been the encouragement of Rick Van Schoik, Executive Director of SCERP, and Paul Ganster, Chairman of the SCERP Management Committee and Director of San Diego State University's Institute for Regional Studies of the Californias (IRSC). Ganster also served as text editor of the atlas. In Mexico, steadfast support has been provided by Jorge Santibáñez, President of COLEF, and José Luis Castro and Rodolfo Cruz (COLEF).

Significant contributions to this project have also come from the San Diego Association of Governments (SANDAG) in the forms of data, satellite imagery, and encouragement. Noteworthy assistance from SANDAG has been provided through Sue Carnevale, John Hofmockel, Steve Kunkel, Mike McLaughlin, Bob Parrott, Jeff Tayman, and Nan Valerio.

Others who have given unselfishly of their time to this project are Rand Allen (County of San Diego), Ward Brady (Arizona State University), Mark DeMulder (U. S. Geological Survey), Enrique García (CNA), David Fege (U.S. Environmental Protection Agency), Charles Fisher and Roberto Espinoza (International Boundary and Water Commission/Comisión Internacional de Límites y Aguas–IBWC/CILA), Pat Flanagan (San Diego Natural History Museum), George Hepner (University of Utah), Kaare Kjos (San Diego-Tijuana Border Initiative), Elizabeth

Nelson, (University of North Carolina, Greensboro), Jeanne Rebstock (ESRI), Tessa Roper (Tijuana River National Estuarine Research Reserve),

Reconocimientos

Este atlas es el resultado de la colaboración de numerosas organizaciones y personas dedicadas y talentosas de los Estados Unidos y México. Se reconocen con gratitud sus aportaciones a la base de datos SIG de la Cuenca del Río Tijuana y a este atlas.

Harry D. Johnson (San Diego State University–SDSU), el cartógrafo principal de este trabajo, destaca entre todos los colaboradores. Junto con Richard Wright (SDSU) y Rafael Vela (El Colegio de la Frontera Norte–COLEF), Johnson es responsable del desarrollo de la base de datos, del análisis del SIG, del diseño cartográfico y de la selección del contenido del atlas. Ha colaborado en estas actividades principalmente con David Dow, Ross Miles y Kristen O'Grady, todos de San Diego State University.

El apoyo inicial y continuo, así como el aliciente para la realización del SIG de la Cuenca del Río Tijuana y del proyecto del atlas, han sido proporcionados por Nina Garfield, Katie Ries y muchos otros miembros de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés), incluyendo Ed Allen, Mike Aslaksen, John Klein, Steve Morrison, Percy Pacheco y Dave Zilkoski.

El desarrollo inicial del SIG de la Cuenca del Río Tijuana también fue posible por medio de un acuerdo de cooperación entre COLEF y el Institut Francais de Recherche en Cooperation (hoy día el Institut de Recherche pour le Développement o IRD). Alain Winckell y Michel Le Page de IRD proporcionaron el liderazgo y los conocimientos técnicos que fueron elementos esenciales en la creación del SIG.

El apoyo financiero para este proyecto que aportó el Consorcio de Investigación y Política Ambiental del Suroeste (CIPAS) ha sido importante y continuo. Especialmente importante ha sido el apoyo de Rick Van Schoik, Director Ejecutivo de CIPAS, y Paul Ganster, Presidente del Comité Ejecutivo de CIPAS y Director del Instituto de Estudios Regionales de las Californias (IRSC, en inglés) de San Diego State University. Ganster también participó como editor de texto de este atlas. En México, Jorge Santibáñez, Presidente del COLEF, y José Luis Castro y Rodolfo Cruz (COLEF) han dado su firme apoyo.

También se recibieron importantes aportaciones por parte de la Asociación de Gobiernos de San Diego (SANDAG, en inglés) en forma de datos, imágenes satelitales y apoyo. SANDAG proporcionó una notable asistencia por medio de Sue Carnevale, John Hofmockel, Steve Kunkel, Mike McLaughlin, Bob Parrott, Jeff Tayman y Nan Valerio.

Otras personas que han invertido su tiempo desinteresadamente en este proyecto son Rand Allen (Condado de San Diego), Ward Brady (Universidad Estatal de Arizona), Mark DeMulder (Servicio Geológico de los Estados Unidos–USGS, en inglés), Enrique García (CNA), David Fege (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos–USEPA, en inglés), Charles Fisher y Roberto Espinoza (International Boundary and Water Comisión/Comisión Internacional de Límites y Aguas–IBWC/CILA), Pat Flanagan (Museo de Historia Natural de San Diego), George Hepner (Universidad de Utah),

Dan Sherrill (ESRI), Laura Silvan (Proyecto Fronterizo de Educación Ambiental), Lisa Stapleton (SanGIS), Mike Wells (Tijuana River National Estuarine Research Reserve), and George Wilkens (Pacific REMS).

During the past eight years, many graduate students and staff members have assisted in this project either through database development or the preparation of maps. The following individuals are recognized for their contributions: David Askov, Kurtis Baron, Eliana Barreiros, Jason Batchelor, Bill Boynton, Christopher Brown, Matthew Brown, Tony Brumfield, Carrie Caldwell, Christopher Carter, Roberto Castañeda, Gerardo Chávez, Kimberlee Conway, Casey Cook, Lloyd Coulter, Matt Daniels, Laura Edwards, Carlos González, Marina González, Sophia Habl, Dan Henderson, Mary Henry, Bonnie Hinshaw, Tim Huntley, Rick Jones, David Lindsay, Mariana Llamas, Nancy Lowery, Steve McElroy, Mark McGinnis, Christi McMichael, Efraín Moncada, Anne Obee, Lina Ojeda, Lilia Ortiz, Adrienne Perry, Jerome Pitt, Carol Placchi, Rick Quinlan, Darren Smith, Marlene Solís, Rick Sperling, Jon Vance, Ruth Warner, Kate Wells, Andrea Westersund, Laurie Williams, and Tom Zmudka.

Finally, we wish to recognize the technical assistance made available to the project through the Richard D. Wright Spatial Analysis Laboratory (SAL) and the Center for Earth Systems Analysis Research (CESAR), both at San Diego State University's Department of Geography. Dave McKinsey, Technical Manager of CESAR, and his staff were always available to provide innovative solutions for our most difficult GIS and image processing software and hardware problems. Also contributing to the success of the project was the technical assistance made available through the staff and facilities of COLEF's Geographic Information System and Statistics of the Northern Border (Sistema de Información Geográfica y Estadística de la Frontera Norte–SIGEF).

Kaare Kjos (Iniciativa Fronteriza San Diego-Tijuana), Elizabeth Nelson, (Universidad de Carolina del Norte, Greensboro), Jeanne Rebstock (ESRI), Tessa Roper (Reserva Nacional de Investigación del Estuario del Río Tijuana–TRNERR, en inglés), Dan Sherrill (ESRI), Laura Silvan (Proyecto Fronterizo de Educación Ambiental), Lisa Stapleton (SanGIS), Mike Wells (TRNERR) y George Wilkens (Pacific REMS).

En los últimos ocho años, numerosos estudiantes de posgrado y miembros del personal han participado en este proyecto, ya sea mediante el desarrollo de bases de datos o en la elaboración de mapas. Se reconoce a las siguientes personas por sus aportaciones: David Askov, Kurtis Baron, Eliana Barreiros, Jason Batchelor, Bill Boynton, Christopher Brown, Matthew Brown, Tony Brumfield, Carrie Caldwell, Christopher Carter, Roberto Castañeda, Gerardo Chávez, Kimberlee Conway, Casey Cook, Lloyd Coulter, Matt Daniels, Laura Edwards, Carlos González, Marina González, Sophia Habl, Dan Henderson, Mary Henry, Bonnie Hinshaw, Tim Huntley, Rick Jones, David Lindsay, Mariana Llamas, Nancy Lowery, Steve McElroy, Mark McGinnis, Christi McMichael, Efraín Moncada, Anne Obee, Lina Ojeda, Lilia Ortiz, Adrienne Perry, Jerome Pitt, Carol Placchi, Rick Quinlan, Darren Smith, Marlene Solís, Rick Sperling, Jon Vance, Ruth Warner, Kate Wells, Andrea Westersund, Laurie Williams y Tom Zmudka.

Por último, deseamos reconocer la asistencia técnica que se dispuso para el proyecto por medio del Laboratorio de Análisis Espacial (SAL, en inglés) Richard D. Wright y el Centro de Investigación de Análisis de Sistemas de la Tierra (CESAR, en inglés), ambos en el Departamento de Geografía de la Universidad Estatal de San Diego. Dave McKinsey, Director Técnico de CESAR, y su personal estuvieron siempre disponibles para proporcionar soluciones innovadoras a los problemas más difíciles de los programas y equipo (*software/hardware*) de informática en cuanto a los procesos de SIG y de imágenes. Asimismo, la asistencia técnica mediante el personal y las instalaciones del Sistema de Información Geográfica y Estadística de la Frontera Norte (SIGEF) del COLEF contribuyó al éxito de este proyecto.

Introduction

A Journey through the Tijuana River Watershed

Diversity, complexity, and dynamism characterize the human and natural systems of the Tijuana River Watershed (TRW). The 1,750 square-mile (4,532 km²) basin that lies astride the international boundary has diverse landforms and topography that range from the tidal estuary at the mouth of the Tijuana River to the pine forest-covered mountains above 6,000 feet (1,829 m) at the upper end of the basin. Coastal mesas and foothills; several broad interior valleys that include those of Tijuana, Alamar, Las Palmas, and Tecate; and a high plateau and mountains on the eastern edge of the basin complete the picture of the basin's topography. The varied topography and the Mediterranean climate produce average temperatures that range from 8 to 18 degrees Celsius (46–64°F) and precipitation from 150 to 650 millimeters (5.9–25.6 in) per year that occurs mainly in the winter months in a few storms. Although most of the watershed falls within the Mediterranean climate regime, some of its area is subject to arid and semi-arid conditions. The variations in topography, geology, rainfall, and temperature have produced an extraordinary diversity of ecosystems and flora and fauna species. Changing land use, driven by population growth, has caused this region to have one of the highest numbers of threatened and endangered species of anywhere in North America.

Dynamism, diversity, and complexity also characterize the human systems of the TRW. Two distinct nations with very different languages, cultures, political and administrative systems, legal traditions, and economies occupy portions of the watershed, separated by the porous international boundary. Rapid population growth is driven by migration from elsewhere in Mexico and the United States. Tijuana's current annual population growth rate of 4.9% is driving urban expansion that threatens to create a contiguously urbanized zone upstream to Tecate and Valle de Las Palmas and over the coastal hills to Playas de Rosarito. The fringes of the lower TRW in San Diego are rapidly being built out with residential and commercial developments, and the upper watershed in San Diego County is also under intense development pressure.

The international boundary that cuts across the TRW separates the highly developed economy of San Diego from the developing economies of Tijuana and Tecate. Very significant economic asymmetries are apparent across the border. Usually minimum wages and the gross regional product of San Diego are 10 to 15 times greater than in Tijuana. Disparate levels of investment in urban and transportation infrastructure also reflect the economic asymmetries. Differences are also apparent in urban features such as housing densities that are far greater in the Baja California portion of the TRW.

Growing economic linkages across the border in the TRW are producing an integrated regional economy. The transborder population is also becoming more integrated through the long-term trend of increasing Mexican-origin population on the San Diego portion of

the TRW, both in the lower and upper parts of the basin. In addition to the dominant population groups of Mexicans and Anglos, the TRW

Paul Ganster

Introducción

Un Recorrido por la Cuenca del Río Tijuana

Los sistemas humanos y naturales de la Cuenca del Río Tijuana (CRT) se caracterizan por su diversidad, complejidad y dinamismo. La cuenca de 4,532 kilómetros cuadrados se encuentra en ambos lados de la línea internacional. Esta cuenca tiene diversos relieves y topografía que varían desde un estuario con mareas en la boca del Río Tijuana hasta montañas cubiertas de bosques de pinos con elevaciones de 1,829 metros en el extremo superior de la cuenca. Las mesetas y relieves costeros; los amplios valles interiores que incluyen los de Tijuana, Alamar, Las Palmas y Tecate; y una altiplanicie y montañas en la orilla este de la cuenca integran el panorama de la topografía de la cuenca. La topografía variada y el clima mediterráneo producen temperaturas promedio que oscilan entre los 8 y 18 grados Celsius y precipitaciones anuales desde 150 a 650 milímetros que ocurren principalmente en los meses invernales durante unas cuantas tormentas. Aunque la mayor parte de la cuenca se encuentra dentro de un régimen climático mediterráneo, una parte de su superficie está sujeta a condiciones áridas y semiáridas. Las variaciones en su topografía, geología, precipitación y temperatura han producido una diversidad extraordinaria de ecosistemas y especies de flora y fauna. El cambio en los usos del suelo, provocados por el crecimiento poblacional, ha causado que esta región tenga uno de los mayores números de especies amenazadas y en peligro de extinción que en cualquier otra parte de Norteamérica.

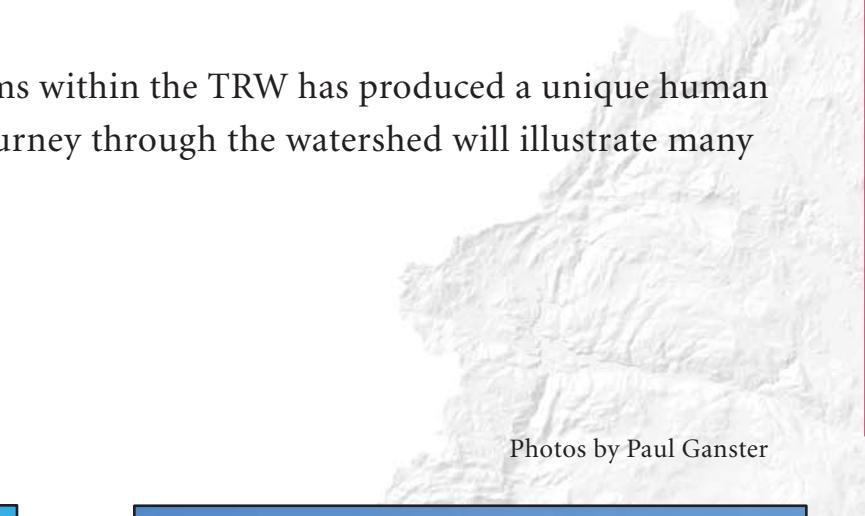
El dinamismo, la diversidad y la complejidad también caracterizan los sistemas humanos de la CRT. Dos naciones distintas con idiomas, culturas, sistemas políticos y administrativos, tradiciones jurídicas y economías muy diferentes ocupan porciones de la cuenca, separadas por una línea internacional permeable. El acelerado crecimiento poblacional se debe a la migración de otras partes de México y de los Estados Unidos. La tasa actual del crecimiento anual de la población de Tijuana es de 4.9%. Esta impulsa la expansión urbana que amenaza con crear una zona urbana contigua aguas arriba hacia Tecate y el Valle de Las Palmas, pasando por los cerros costeros hacia Playas de Rosarito. Las orillas de la parte baja de la CRT en San Diego están siendo rápidamente edificadas con desarrollos residenciales y comerciales. La parte alta de la cuenca en el Condado de San Diego también se encuentra bajo intensa presión de desarrollo.

La línea internacional que atraviesa a la CRT separa la economía sumamente desarrollada de San Diego de las economías en vías de desarrollo de Tijuana y Tecate. Las asimetrías económicas, que son muy significativas, son evidentes a través de la frontera. Por lo general, el salario mínimo y el producto regional bruto de San Diego son de 10 a 15 veces más altos que los de Tijuana. Los niveles desiguales de inversión en la infraestructura urbana y de transporte también reflejan las asimetrías económicas. Asimismo, se manifiestan diferencias en las características urbanas, tales como la densidad de vivienda que es mucho mayor en la parte bajacaliforniana de la CRT.

Los crecientes enlaces económicos a través de la frontera en la CRT

has numbers of African Americans as well as Chinese and other Asians. Also important in the cultural mix of the TRW are Native American tribal peoples, the earliest inhabitants of the region. The La Posta Band of Mission Indians has its reservation lands entirely within the watershed. The Campo Band of Kumeyaay Indians, the Manzanita, and the Cuyapaipe also have reservation lands that are partly in the TRW. South of the border, there are Kumiai peoples scattered throughout the TRW and with settlements at Juntas de Nejí, Peña Blanca, and San José Tecate.

This blend of natural and human systems within the TRW has produced a unique human and natural landscape. A photographic journey through the watershed will illustrate many of these features.



Photos by Paul Ganster



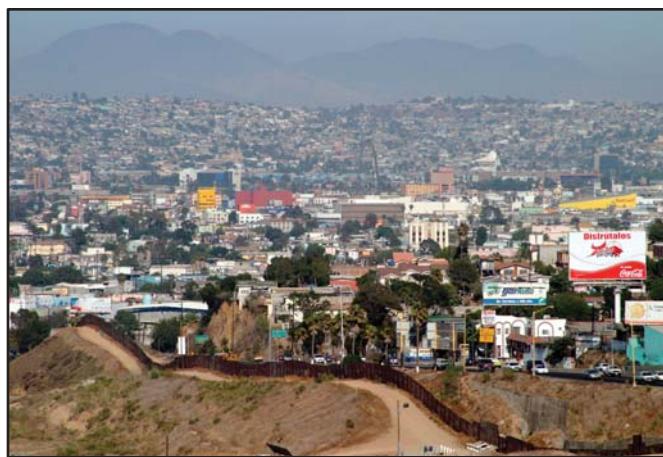
View across the border fence of the beach of the Tijuana River Estuary, with Imperial Beach, downtown San Diego, and Coronado in the background.

Vista de la playa del Estuario del Río Tijuana a través del cerco fronterizo, con Imperial Beach, el centro de San Diego y Coronado al fondo.



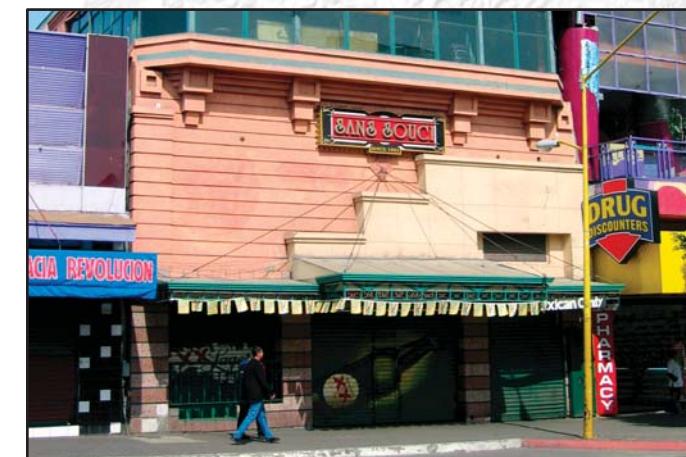
Border Field State Park, with border fence and Playas de Tijuana's bullring and lighthouse in background.

Parque Estatal Border Field, con el cerco fronterizo y la plaza de toros y el faro de Playas de Tijuana al fondo.



The central part of Tijuana with dense settlements on adjacent hillsides. The border fence is in the foreground.

La parte central de Tijuana con asentamientos densos en las laderas adyacentes. El cerco fronterizo está en el primer plano.



Avenida Revolución, the center of Tijuana's traditional tourism industry, with pharmacies, restaurants, gift stores, and cabarets.

Avenida Revolución, el centro de la industria tradicional de turismo de Tijuana con farmacias, restaurantes, tiendas de regalos y cabarets.

están produciendo una economía regional integrada. La población transfronteriza también se está integrando más mediante la tendencia a largo plazo de una población creciente de origen mexicano en la parte sandieguina de la CRT, tanto en la parte baja como en la parte alta de la cuenca. Además de los grupos poblacionales dominantes de mexicanos y anglos, la CRT cuenta con grupos afroamericanos, así como también de chinos y otros asiáticos. Los pueblos tribales de americanos nativos, los primeros habitantes de la región, también son importantes en la mezcla cultural de la CRT. El grupo de indios misión de La Posta tiene sus reservaciones totalmente dentro de la cuenca. Parte de las reservaciones de los grupos de indios kumiai de Campo, manzanita y cuyapaipe también se ubica en la CRT. Al sur de la frontera, indígenas kumiai viven dispersos por toda la CRT y con poblados en Juntas de Nejí, Peña Blanca y San José Tecate.

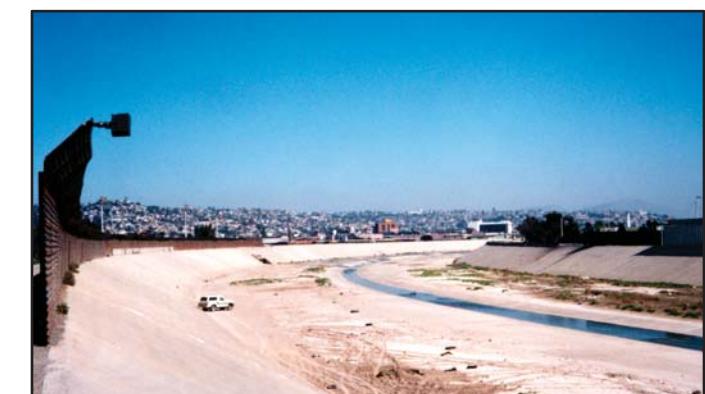
Esta mezcla de sistemas naturales y humanos dentro de la CRT ha producido un paisaje humano y natural único. Un recorrido fotográfico por la cuenca ilustrará muchas de estas características.

Fotos por Paul Ganster



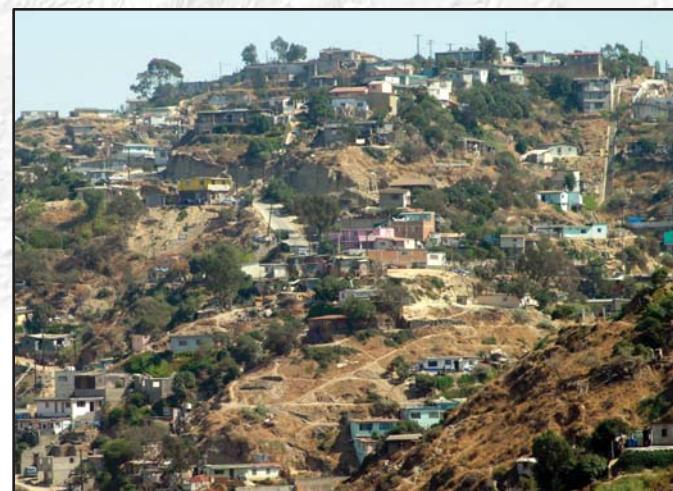
Sediment deposited on Monument Road in the Tijuana River Valley in San Diego after a moderate storm in the fall of 2004.

Sedimento depositado en el camino Monument Road en el Valle del Río Tijuana en San Diego después de una tormenta moderada en el otoño de 2004.



The Tijuana River is channelized through urban Tijuana and for a short distance into the United States.

El Río Tijuana está canalizado por la zona urbana de Tijuana y por una corta distancia en los Estados Unidos.



Much of Tijuana and Tecate was urbanized by irregular settlements. Los Laureles Canyon shows this settlement pattern on precarious slopes.

Gran parte de Tijuana y Tecate fue urbanizada por asentamientos irregulares. El Cañón de Los Laureles muestra este patrón de asentamientos en laderas precarias.



Tijuana's Alamar River valley still has truck gardening. Maquiladoras on Mesa de Otay are in the background.

El Valle del Río Alamar de Tijuana todavía tiene pequeñas hortalizas. Al fondo se ven maquiladoras en la Mesa de Otay.



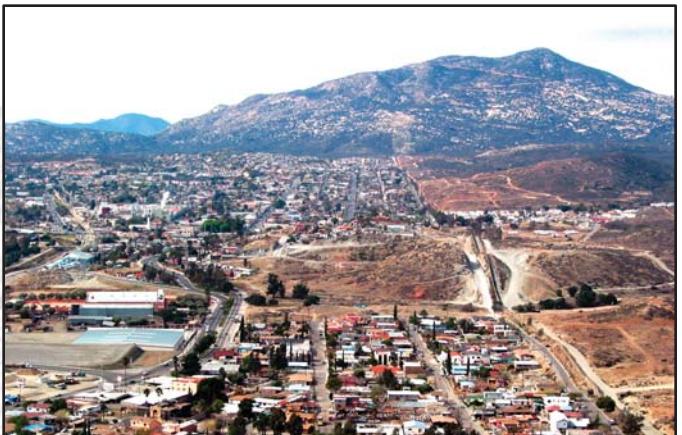
The Alamar River, on the eastern edge of Tijuana, with riparian vegetation in good condition.

El Río Alamar, en el lado este de Tijuana, con vegetación riparia en buenas condiciones.



The Tecate River in urban Tecate is the focus of efforts to restore the river and create a river park.

El Río Tecate en la sección urbanizada de Tecate es el enfoque de los esfuerzos para restaurar el río y crear un parque ribereño.



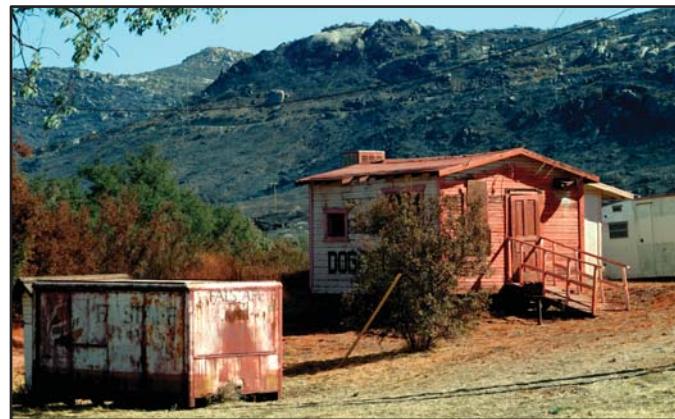
Tecate, Baja California, on the left and Tecate, California, on the right with Tecate Peak, or Mount Cuchumá, in the background.

Tecate, Baja California, a la izquierda y Tecate, California, a la derecha con el Tecate Peak, o cerro Cuchumá, al fondo.



Tecate's main square, Miguel Hidalgo Park.

Parque Miguel Hidalgo, la plaza principal de Tecate.



Structures covered with airdropped pink fire retardant and some vegetation in the valley bottom survived the September 2004 Campo fire.

Estructuras cubiertas con retardador de fuego color rosa lanzado desde el aire y alguna vegetación en el fondo del valle sobrevivieron el incendio de Campo en septiembre de 2004.



The growing of grapes and the wine industry are spreading in the Tijuana River Watershed.

El cultivo de uvas y la industria vinícola se están extendiendo en la Cuenca del Río Tijuana.



Lake Morena in San Diego County was at about 10% capacity in July 2004 after three years of drought.

El Lago Morena en el Condado de San Diego estaba alrededor del 10% de capacidad en julio de 2004 después de tres años de sequía.



The rural community of Pine Valley in the upper watershed in San Diego County.

La comunidad rural de Pine Valley en la parte alta de la cuenca en el Condado de San Diego.



New developments in the upper watershed include the Golden Acorn Casino on the reservation lands of the Campo Band of Kumeyaay Indians.

Nuevos desarrollos en la parte alta de la cuenca incluyen el Casino Golden Acorn en las tierras de la reserva del grupo de indios kumiai de Campo.



Watershed education at Campo reservation by Natural Resource Conservation Service.

Educación acerca de las cuencas en la reserva de Campo por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales.



Pine forests are to be found in the upper reaches of the watershed on both sides of the border.

Los bosques de pinos se pueden encontrar en la parte alta de la cuenca en ambos lados de la frontera.



Vacation home in the Cleveland National Forest near Pine Valley. Vacation home development is increasing in the upper watershed in San Diego County and Baja California.

Casa de vacaciones en el Bosque Nacional Cleveland cerca de Pine Valley. El desarrollo de casas de vacaciones está aumentando en la parte alta de la cuenca en el Condado de San Diego y en Baja California.



Occasionally, winter snowstorms occur above 5,000 feet in elevation in the northeast portion of the watershed.

Ocasionalmente ocurren nevadas invernales a más de 1,524 metros de elevación en la parte noreste de la cuenca.



The boundary fence and a U.S. Border Patrol road stretch across the landscape in the upper Tijuana River Watershed near Campo, Mexico is to the right of the fence.

El cerco fronterizo y un camino de la Patrulla Fronteriza de los Estados Unidos se extienden por el paisaje en la parte alta de la Cuenca del Río Tijuana cerca de Campo. México se encuentra del lado derecho del cerco.



Marker at the border fence to the south of Campo, California, for southern terminus of Pacific Crest Trail, 2,627 miles (4,228 km) to Canada. The trail does not extend into Baja California.

Mojonera en el cerco fronterizo al sur de Campo, California, que marca el punto sur del Sendero de Pacific Crest, 4,228 kilómetros a Canadá. El sendero no se extiende hacia Baja California.



Railroad is again moving freight through the watershed between Tijuana and the Imperial Valley.

El ferrocarril de nuevo transporta carga a través de la cuenca entre Tijuana y el Valle Imperial.



Herding of goats and sheep and cattle ranch is still common in the upper watershed in Baja California.

El arreo de cabras, ovejas y ganado sigue siendo común en la parte alta de la cuenca en Baja California.



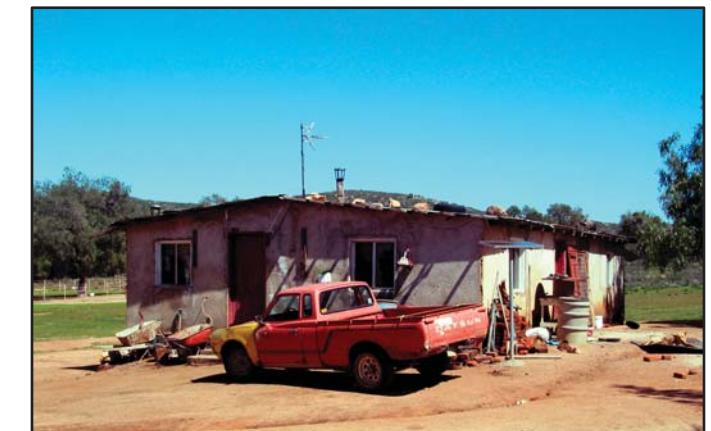
Heavily eroded arroyo in the Nejí region in the Mexican portion of the watershed, most likely caused by excessive grazing and destruction of riparian vegetation.

Arroyo sumamente erosionado en la región de Nejí en la parte mexicana de la cuenca, que muy probablemente es a causa de pastoreo excesivo y destrucción de la vegetación riparia.



Rancho El Compadre, one of the few permanently occupied traditional ranches of the Mexican portion of the watershed.

Rancho El Compadre, uno de los pocos ranchos tradicionales permanentemente ocupado en la parte mexicana de la cuenca.



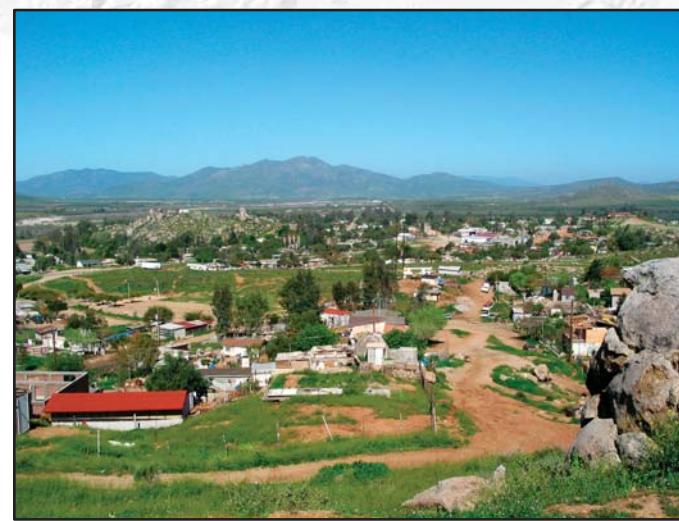
Rancho Peña Blanca, a traditional Kumiai Indian settlement in the Mexican portion of the watershed.

Rancho Peña Blanca, un poblado tradicional de los indios kumiai en la parte mexicana de la cuenca.



Pinyon pines in the very upper reaches of the watershed in Baja California.

Pinos piñoneros en la parte más alta de la cuenca en Baja California.



Valle de Las Palmas, an agricultural community in the watershed south of Tecate.

Valle de Las Palmas, una comunidad agraria en la cuenca al sur de Tecate.



Rancho Viejo, located to the east of Valle de Las Palmas, is one of a growing number of rural developments in the watershed designed to attract campers and picnickers.

Rancho Viejo, localizado al este del Valle de Las Palmas, es uno de los crecientes desarrollos rurales en la cuenca diseñado para atraer a las personas que disfrutan de acampar o de merendar (picnic) en el campo.



El Hongo, a growing Mexican community with many vacation homes in the eastern portion of the watershed.

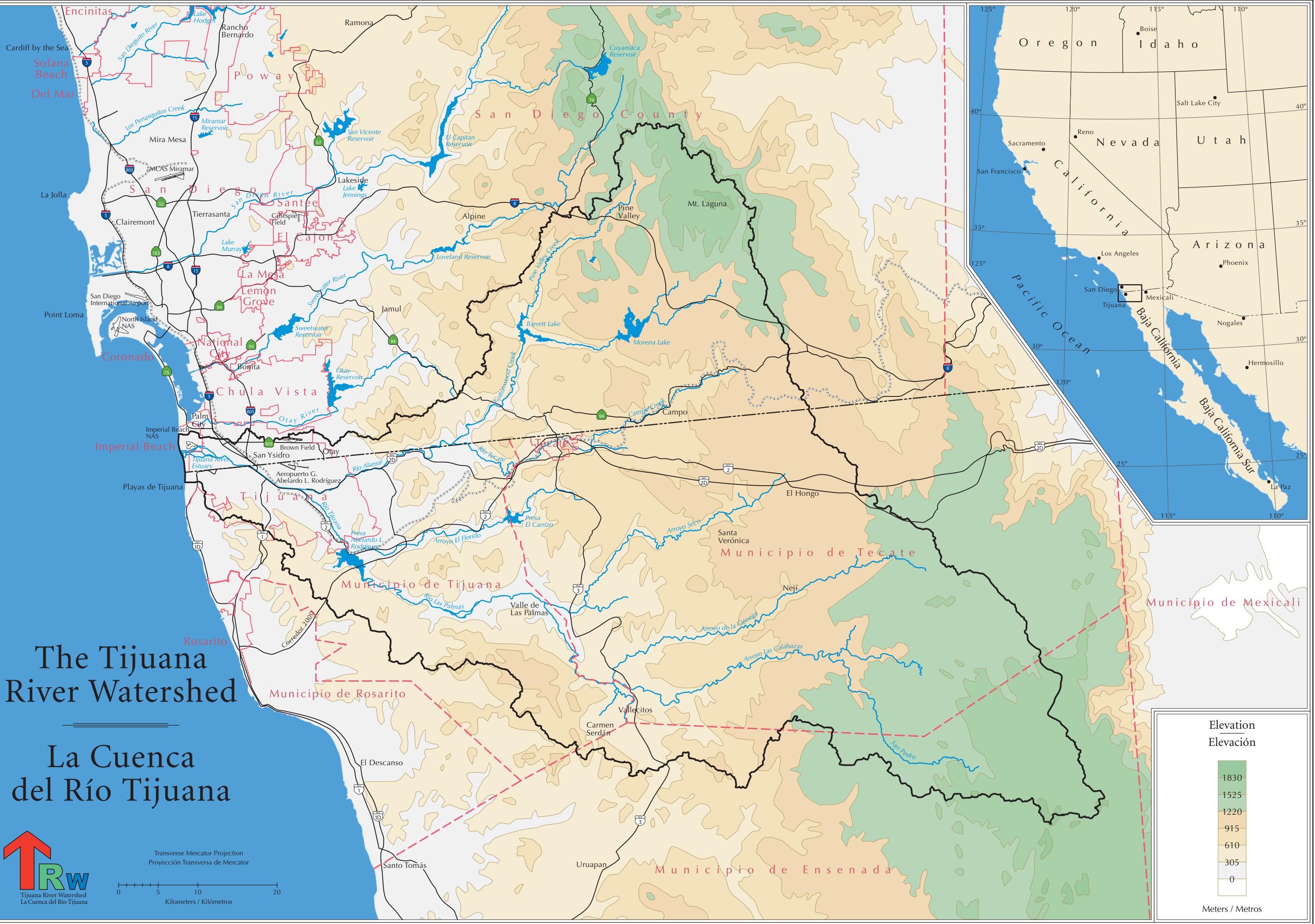
El Hongo, una creciente comunidad mexicana con numerosas casas de vacacionistas en la parte este de la cuenca.

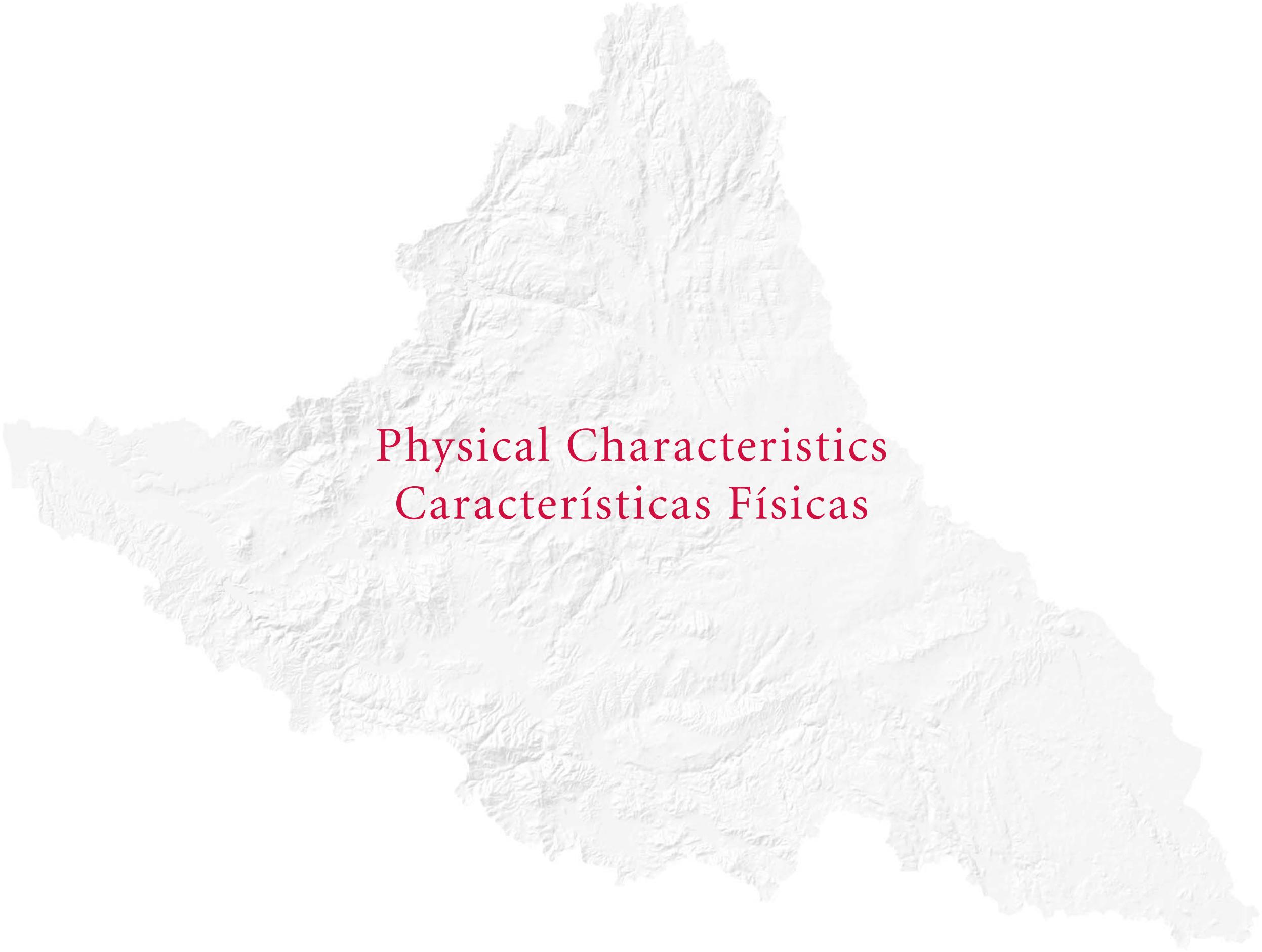
Location

Richard D. Wright

The Tijuana River Watershed is the westernmost of a set of transboundary drainage basins that helps define the nature of the United States-Mexican border region. Three facts of the watershed's location are especially significant in determining its nature and importance. First, the watershed is divided by an international border, with one-third of its area in the United States and two-thirds in Mexico. Although the two countries share the watershed, the international boundary has made it difficult to solve long-standing problems such as water pollution and flooding. However, the last decade has seen a dramatic increase in cross-border cooperation among government officials, university researchers, and not-for-profit organizations, or NGOs. It is hoped that this collaboration will ultimately lead to improved conditions in the watershed. Second, the watershed drains through the Tijuana River National Estuarine Research Reserve (TRNERR) and into the Pacific Ocean. Upstream activities have an effect on water quality and quantity in the estuary and nearshore marine environments. The fluvial transport of huge amounts of sediment and the increased demand for potable water from local sources have had devastating impacts on the Tijuana River Estuary, one of the last functioning coastal wetlands in Southern California. Industrial, agricultural, and sewage discharges into the river have produced dangerous consequences for human health in the form of gastrointestinal and other diseases as well as economic impacts through beach closures and loss of recreation opportunities and tourism. Third, the watershed is located in the San Diego-Tijuana region, the border region most impacted by the NAFTA-stimulated industrialized development, economic growth, trade expansion, and urbanization. This region—which has a population of over four million—is one of the most rapidly growing areas in the U.S.-Mexican border area. This growth and associated land-use changes are responsible for numerous environmental problems in the watershed, including a decline in the quality and quantity of surface and groundwater, increased runoff from winter storms with accelerated erosion and flood dangers, alteration of natural habitats, increased air pollution, reduction in the amount of green areas for urban residents, and an increase in the number of habitats and plant and animal species that are threatened or endangered.

La Cuenca del Río Tijuana es la cuenca hidrográfica del extremo occidental de un conjunto de cuencas hidrográficas transfronterizas. Este conjunto ayuda a definir la naturaleza de la región fronteriza de los Estados Unidos y México. Tres datos sobre la ubicación de la cuenca son especialmente significativos y determinan su naturaleza e importancia. Primero, la cuenca está dividida por una frontera internacional, con un tercio de su superficie en los Estados Unidos y dos tercios en México. Aunque ambos países comparten la cuenca, la línea internacional ha dificultado la solución de los problemas que existen desde hace tiempo como la contaminación del agua y las inundaciones. No obstante, en la última década se ha visto un aumento considerable en la cooperación transfronteriza entre funcionarios de gobierno, investigadores de universidades y organizaciones sin fines lucrativos, u ONGs. Se espera que esta colaboración finalmente resulte en mejores condiciones de la cuenca. Segundo, la cuenca drena a través de la Reserva Nacional de Investigación del Estuario del Río Tijuana (TRNERR, por sus siglas en inglés) y hacia el Océano Pacífico. Las actividades aguas arriba afectan la calidad y cantidad del agua en los entornos marinos costeros y del estuario. El transporte fluvial de enormes cantidades de sedimentos y la creciente demanda de agua potable proveniente de fuentes locales han tenido impactos devastadores en el Estuario del Río Tijuana, uno de los últimos humedales costeros funcionales en el Sur de California. Las descargas industriales, agrícolas y de aguas residuales en el río han generado consecuencias peligrosas para la salud humana. Estas consecuencias adquieren forma de enfermedades gastrointestinales, entre otras, como también de impactos económicos mediante el cierre de playas y pérdida de oportunidades recreativas y turísticas. Tercero, la cuenca está ubicada en la región de San Diego y Tijuana, la región fronteriza más impactada por el desarrollo industrial fomentado por el TLCAN, por el crecimiento económico, el desarrollo comercial y la urbanización. Esta región—con una población superior a los cuatro millones de habitantes—es una de las zonas de crecimiento más acelerado en el área fronteriza de los Estados Unidos y México. Este crecimiento y los correspondientes cambios de los usos de suelos son responsables de numerosos problemas ambientales en la cuenca. Éstos incluyen un deterioro de la calidad y cantidad de aguas superficiales y subterráneas, mayores escorrentías de tormentas invernales con erosión acelerada y peligros de inundaciones, la alteración de hábitats naturales, aumento en la contaminación del aire, reducción del número de áreas verdes para los residentes urbanos y un aumento en la cantidad de hábitats y especies de flora y fauna en amenaza o peligro de extinción.





Physical Characteristics Características Físicas

Physical Characteristics

Richard D. Wright

The physical geography of the watershed is the result of the interaction of four natural systems, or spheres, as modified by human intervention. The interplay of these systems results in a highly complex natural environment. In this section of the atlas, the focus is on the physical dimensions of the watershed and on some of the technical issues that were involved in harmonizing data across the United States-Mexican border.

The first sphere is the lithosphere, which is comprised of the earth's crust and the part of the earth that lies just below the crust. The elements of the lithosphere covered here are topography, geology, geomorphology, and soils. The topography map shows the undulations, slopes, and elevations of the watershed. The map is derived from digital elevations models (DEMs) that were harmonized across the border. This is followed by the geology map, which represents the distribution and composition of the rocks that comprise the surface and subsurface of the watershed. Great differences in the accuracy, generalization, and date of the source data make blending of the geological information difficult, especially along the border. Following the geology illustration is a map of the geomorphology, which displays the characteristics of landforms in the watershed and their relationships to geological processes. After the geomorphology map are two maps of soils, that is, the organic and inorganic material that lies above the bedrock that is capable of supporting vegetation. Two soils maps are included because of the extreme difficulty of reconciling very different soils classifications. The first soils map is the result of integrating two classifications: the United Nations' Food and Agriculture Organization (FAO) for Mexico and the Seventh Approximation for the United States. The second is a modeled rendition of soils based on the relationships between soils types and characteristics of the environment such as elevation, precipitation, and terrain steepness.

The second sphere is the atmosphere, more specifically, the troposphere, which is that part of the gaseous layer surrounding the earth that extends from sea level to about five to 10 miles (8–16 km) above. Average air temperature and average annual precipitation are the principal elements of the troposphere contained in the atlas. One of the principal difficulties in portraying the distribution of temperature and precipitation in the watershed is the paucity of weather stations, particularly on the Mexican side. To partly overcome this problem, a model of average precipitation distribution in the watershed based on the correlation between precipitation and elevation, latitude, and distance from the Pacific Ocean is presented.

The third sphere described in the atlas is the hydrosphere, which is that portion of the earth comprised of water. Representing the hydrosphere is a map that portrays the principal reservoirs and the surface water drainage. GIS edge-matching techniques made it possible to connect the stream network symbols on the United States and Mexican maps at the international border.

The final sphere characterized in the physical section is the biosphere or living organisms (flora and fauna) portion of the earth. Representing

La geografía física de la cuenca es el resultado de la interacción de cuatro sistemas naturales, o esferas, que han sido modificadas por la intervención humana. La relación mutua de estos sistemas resulta en un ambiente natural sumamente complejo. En esta sección del atlas, el enfoque es en las dimensiones físicas de la cuenca y en algunos de los aspectos técnicos que se trataron en la integración de datos a lo largo de la frontera de los Estados Unidos y México.

La primera esfera es la litosfera, la cual comprende la corteza terrestre y la parte de la tierra que yace justo debajo de la corteza. Los elementos de la litosfera que se tratan aquí son la topografía, geología, geomorfología y los suelos. El mapa topográfico muestra las ondulaciones, vertientes y elevaciones de la cuenca. El mapa se deriva de los modelos digitales de elevaciones (MDE) que fueron armonizados a lo largo de la frontera. A éste lo sigue el mapa geológico, el cual representa la distribución y composición de las rocas que comprenden la superficie y subsuperficie de la cuenca. La mezcla de la información geológica se dificulta debido a las grandes diferencias en la exactitud, generalización y fecha de los datos de origen, especialmente a lo largo de la frontera. A la ilustración geológica le sigue un mapa geomorfológico, el cual muestra las características de las formas fisiográficas en la cuenca y su relación con los procesos geológicos. Después del mapa geomorfológico se encuentran dos mapas de suelos, es decir, el material orgánico e inorgánico que yace sobre el lecho rocoso que tiene capacidad de sustentar la vegetación. Se incluyen dos mapas de los suelos debido a la extrema dificultad de conciliar las clasificaciones de suelos tan diferentes. El primer mapa de suelos es el resultado de la integración de dos clasificaciones: la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO, en inglés) de las Naciones Unidas para México y la Séptima Aproximación para los Estados Unidos. La segunda es una rendición modelada de suelos basada en la relación entre los tipos de suelos y las características ambientales, tales como la elevación, precipitación y pendiente del terreno.

La segunda esfera es la atmósfera, específicamente, la troposfera. Ésta es la parte de la capa gaseosa que rodea a la tierra y se extiende desde el nivel del mar hasta una elevación de unos ocho a 16 kilómetros. El atlas contiene datos de la temperatura media del aire y la precipitación media anual, que son los elementos principales de la troposfera. Una de las dificultades principales en la representación de la distribución de temperatura y precipitación en la cuenca es el número limitado de estaciones meteorológicas, especialmente en el lado mexicano. Para superar parte de este problema, se presenta un modelo de la distribución de la precipitación media en la cuenca basado en la correlación entre la precipitación y la elevación, la latitud y la distancia del Océano Pacífico.

La tercera esfera descrita en el atlas es la hidrosfera. Ésta es la proporción de la tierra compuesta por agua. La hidrosfera es representada por un mapa que reproduce las presas principales y el drenaje superficial. Las técnicas del SIG de ajuste de bordes hicieron posible conectar los símbolos de redes de corrientes

the biosphere are two illustrations that show vegetation communities and riparian vegetation in the watershed. These maps are based on a detailed database that was created as a result of extensive aerial photograph interpretation and field (on-the-ground) mapping.

en los mapas estadounidenses y mexicanos en la frontera internacional.

La última esfera que se caracteriza en la sección física es la biosfera o la parte de la tierra de organismos vivientes (flora y fauna). La biosfera está representada por dos ilustraciones que muestran las comunidades de vegetación así como la vegetación riparia en la cuenca. Estos mapas están basados en una base de datos detallada que fue creada como resultado de una interpretación extensa de fotografías aéreas y trabajo de campo de mapeo del terreno.



Topography

Cross Sections

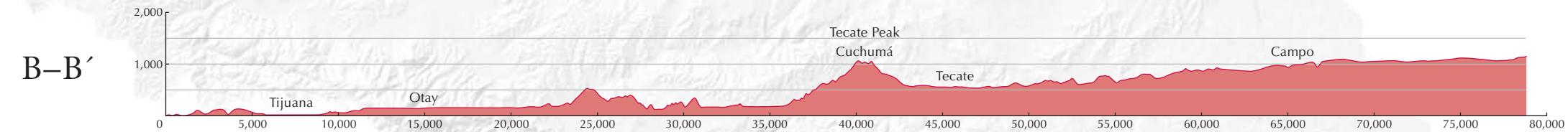
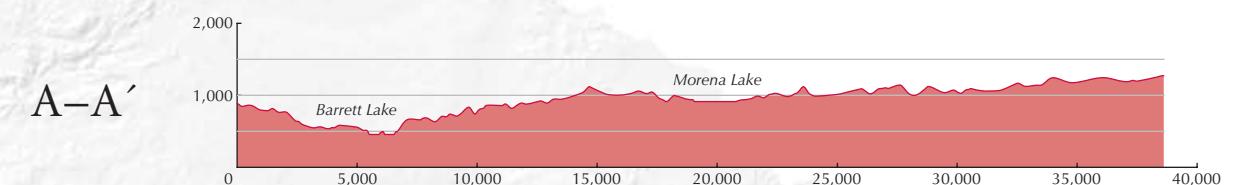
The watershed surface increases in elevation from sea level in the west at the mouth of the Tijuana River, to more than 6,378 feet (1,944 m) and 5,900 feet (1,800 m) in the mountains of the northeast and southeast, respectively. The west-to-east gradient is not uniform, however, as many parts of the surface have been highly dissected by the erosive action of running water, particularly in the vicinity of the major stream valleys. The sides of these valleys comprise the majority of steeply inclined land (slopes in excess of 25%). Gently sloping land (slopes less than 10%) is found largely in the bottoms of the major streams valleys, for example, in the Tijuana River and the Río Las Palmas; the tops of the marine terraces near the west; and the uplands in the east, central, and southeastern sections of the watershed. Numerous peaks dominate the landscape and help give character to the watershed from west to east. They are the Colorado Peak 1,640 feet (500 m), Otay Mountain 3,566 feet (1,087 m), San Isidro Peak 2,756 feet (840 m), El Carmelo Peak 2,887 feet (880 m), Gaskill Peak 3,835 feet (1,169 m), Tecate Peak 3,885 feet (1,184 m), Grande Peak 2,953 feet (900 m), Gordo Dos Peak 3,412 feet (1,040 m), Corte Madera Mountain 4,656 feet (1,419 m), Morena Butte 3,921 feet (1,195 m), San Javier Peak 3,937 feet (1,200 m), Los Monos Peak 3,609 feet (1,100 m), Peña Blanca Peak 3,937 feet (1,200 m), La Hiedra Peak 3,346 feet (1,020 m), Gill Peak 3,691 feet (1,125 m), Nejí Peak 4,462 feet (1,360 m), Cuyapaipe Peak 6,378 feet (1,944 m), La Sierrita range 5,184 feet (1,580 m), and San Pedro Peak 5,906 feet (1,800 m).

Richard D. Wright

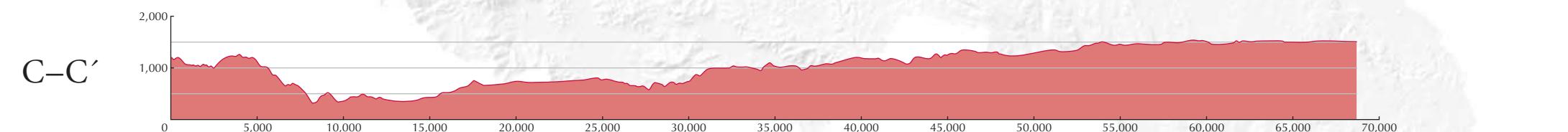
Topografía

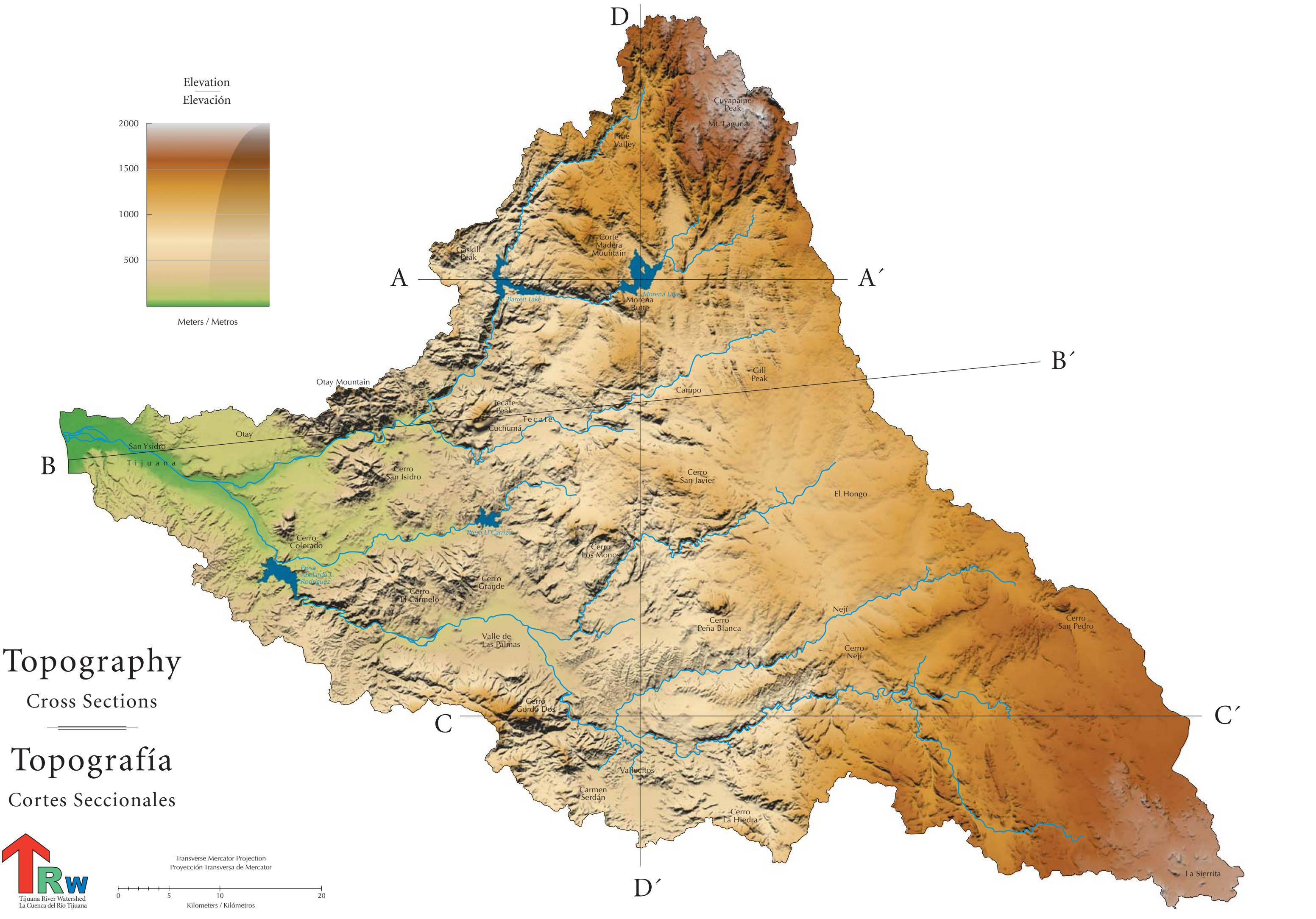
Cortes Seccionales

La superficie de la cuenca incrementa su elevación desde el nivel del mar en el occidente en la boca del Río Tijuana, hasta las montañas del noreste y sureste a más de 1,944 metros y 1,800 metros, respectivamente. Sin embargo, la pendiente no es uniforme de oeste a este. Esto se debe a que muchas partes de la superficie han sido sumamente fragmentadas por la acción erosiva de las corrientes de agua, especialmente en las inmediaciones de los principales valles fluviales. Las laderas de estos valles comprenden la mayor parte del suelo con inclinaciones muy pronunciadas (laderas que exceden 25% de pendiente). El suelo de laderas suaves (laderas con menos del 10%) se encuentra en gran medida en los fondos de los principales valles fluviales, por ejemplo, en el Río Tijuana y en el Río Las Palmas; las partes altas de las terrazas marinas cerca del oeste; y las altiplanicies en las secciones este, central y sureste de la cuenca. Numerosas montañas dominan el paisaje y dan carácter a la cuenca del oeste hacia el este. Éstas son el Cerro Colorado (500 m), Otay (1,087 m), San Isidro (840 m), El Carmelo (880 m), Gaskill (1,169 m), Tecate (1,184 m), Grande (900 m), Gordo Dos (1,040 m), Corte Madera (1,419 m), Morena Butte (1,195 m), San Javier (1,200 m), Los Monos (1,100 m), Peña Blanca (1,200 m), La Hiedra (1,020 m), Gill (1,125 m), Nejí (1,360 m), Cuyapaipe (1,944 m), La Sierrita (1,580 m) y San Pedro (1,800 m).



Elevation and distance are in meters
Elevación y distancia se indican en metros





Geology

Generalized Rock Types and Faults

The Tijuana River Watershed occupies a region of complex geology on the western slopes of the Peninsular Ranges of Southern California and Baja California. The dominant rock type in the upper reaches of the watershed consists of plutonic rocks of the Peninsular Ranges Batholith. The metasedimentary rocks represent the clastic sediments that were at the western edge of North America. The Julian Schist and the Vallecitos Formation are examples of these metasedimentary rocks. The Metavolcanic rock (Santiago Peak Formation) represents a volcanic sequence that has been added to North America. The batholith rocks range from gabbro to granite and can be divided into two groups based on composition, age, and deformation. The western group is older and more deformed than the younger eastern group. These groups of granitic rocks are made up of many individual intrusive plutonic bodies. These rocks are the result of plate subduction, which was active during the Cretaceous Period along the entire west coast of North America, producing large volumes of magma that intruded into and metamorphosed Mesozoic sediments. Displacement of these plutonic rocks occurred at crustal depths of six miles (10 km) and caused uplift of a towering coastal mountain range similar to the modern Andes of South America. An extensive episode of erosion in the late Cretaceous through early Cenozoic reduced these mountains to a low coastal plain by Eocene time, approximately 50 million years ago.

In the lower reaches of the watershed, the rocks primarily consist of Cenozoic sedimentary rocks of Oligocene, Miocene, Pliocene, and Pleistocene age. Oligocene rocks of the Otay Formation were deposited in a large coastal alluvial fan and braided stream system. Miocene rocks of the Rosarito Beach Formation were deposited in and adjacent to a shallow continental shelf setting with offshore volcanic islands providing basaltic flows, ash falls, and alluvial fan debris. Pliocene rocks of the San Diego Formation accumulated in a broad coastal embayment bounded on the southeast by what was probably an ancient Tijuana River system. This river system carried extensive deposits of sand and gravel into the Pliocene bay, preserving a diverse assemblage of marine and terrestrial organisms. Pleistocene rocks of the Linda Vista and Bay Point formations were deposited in shallow nearshore marine paleoenvironments. These fossil-rich deposits occur primarily as thin sedimentary veneers that mantle coastal terraces and mesas. These terraces and mesas are the result of rising and falling sea levels and the correlated periods of global warming and cooling. The modern Tijuana River Valley was incised into these Pleistocene deposits during the most recent glacial interval, which reached its maximum approximately 18,000 years ago with a sea level some 328 feet (100 m) below present sea level. As sea level recovered during the current period of global warming, the river valley was first flooded to form a large bay and, as the sea level stabilized, the valley eventually “silted up.”

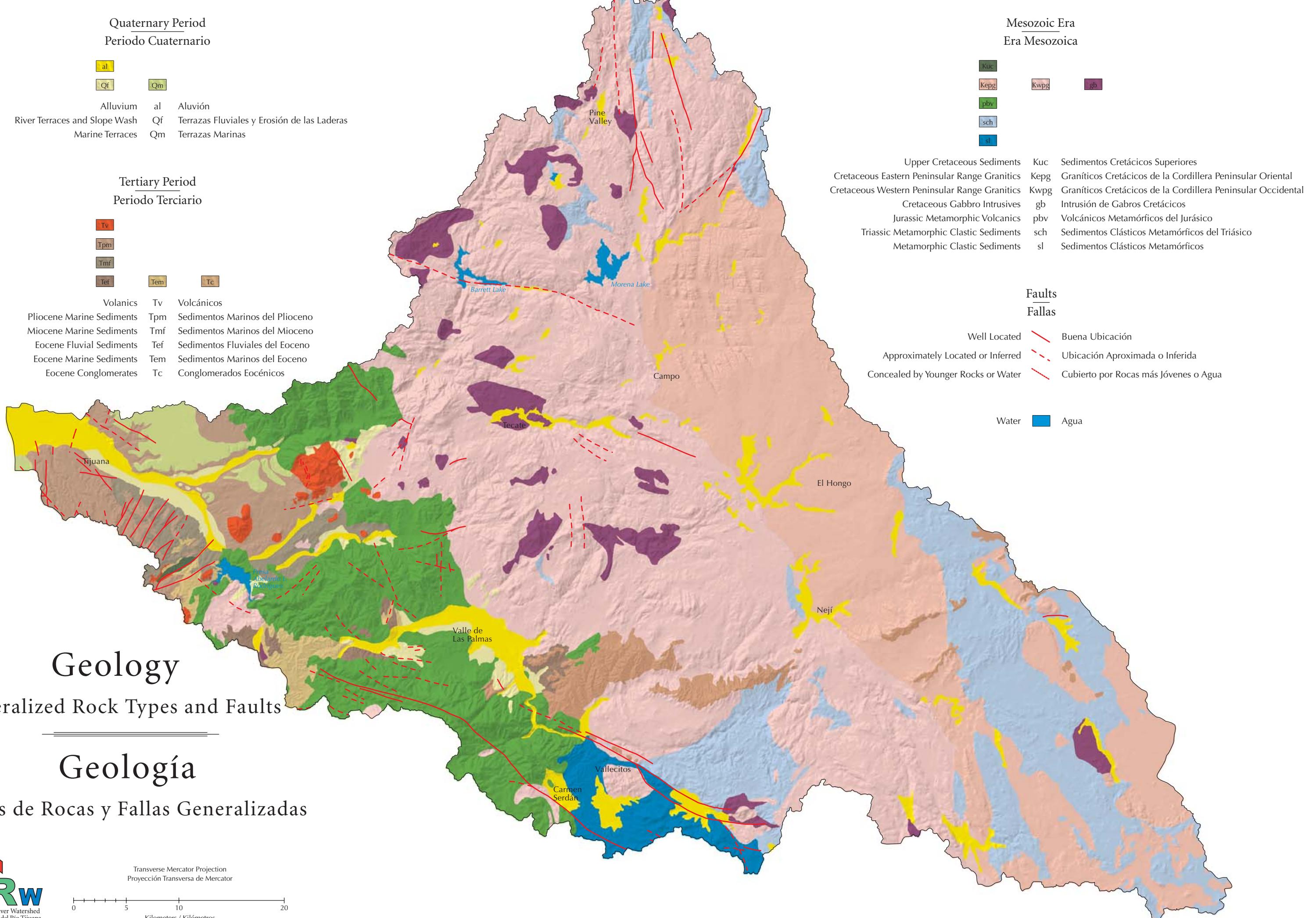
Thomas A. Deméré

Geología

Tipos de Rocas y Fallas Generalizadas

La Cuenca del Río Tijuana ocupa una región de geología compleja en las laderas occidentales de las cordilleras peninsulares del Sur de California y de Baja California. El tipo de roca que domina las zonas altas de la cuenca consiste de rocas plutónicas de las cordilleras batolitas peninsulares. Las rocas metasedimentarias representan los sedimentos clásticos que estaban en el extremo oeste de Norteamérica. El esquistito de Julian y la formación de Vallecitos son ejemplos de estas rocas. La roca metavolcánica (formación de la montaña Santiago) representa una secuencia volcánica que se ha unido a Norteamérica. Las rocas batolitas varían desde gabro a granito y se pueden dividir en dos grupos basados en composición, edad y deformación. El grupo oeste es más antiguo y más deformado que el grupo este. Estos grupos de rocas graníticas están compuestos de numerosos cuerpos plutónicos intrusivos e individuales. Estas rocas son el resultado de la subducción de placas, la cual estaba activa por toda la costa occidental de Norteamérica durante el periodo cretácico, produciendo grandes volúmenes de magma que se introdujeron dentro de los sedimentos mesozoicos y causaron su metamorfosis. El desplazamiento de estas rocas plutónicas ocurrió a profundidades corticales de 10 kilómetros y causaron la elevación de una gran cordillera en la costa, parecida a los modernos Andes de Sudamérica. Un episodio extenso de erosión, a fines del cretácico y principios del cenozoico, redujo estas montañas a una planicie costera baja para el tiempo del eoceno, hace unos 50 millones de años.

En las partes bajas de la cuenca, las rocas son principalmente sedimentarias cenozoicas de edad oligocena, miocena, pliocena y pleistocena. Las rocas oligocenas de la formación de Otay fueron depositadas en un abanico aluvial costero grande y un sistema entrelazado de corrientes. Las rocas miocenas de la formación de la playa de Rosarito fueron depositadas dentro y colindantes con una plataforma continental de poca profundidad con islas volcánicas cercanas a la costa generando flujos basálticos, cascadas de ceniza y detritos del abanico aluvial. Las rocas pliocenas de la formación de San Diego se acumularon en un amplio engolfamiento costero, limitado en el sureste por lo que probablemente era el antiguo sistema del Río Tijuana. Este sistema fluvial transportó extensos depósitos de arena y grava dentro de la bahía pliocena, preservando una asociación de organismos marinos y terrestres. Las rocas pleistocenas de las formaciones de Linda Vista y Bay Point fueron depositadas en paleoambientes marinos de poca profundidad cercanos a la costa. Estos depósitos ricos en fósiles se dan principalmente como delgadas capas sedimentarias que cubren las terrazas y las mesetas costeras. Estas terrazas y mesetas son el resultado de las elevaciones y descensos del nivel del mar y de los periodos correlacionados del calentamiento y enfriamiento global. El valle actual del Río Tijuana fue cortado para formar estos depósitos pleistocenos durante el intervalo glacial más reciente, el cual alcanzó su máximo hace unos 18,000 años con un nivel del mar algunos 100 metros bajo el actual nivel del mar. Conforme se recuperaba el nivel del mar durante el actual periodo de calentamiento global, el valle del río fue inundado primero para formar una bahía grande y, al estabilizarse el nivel del mar, el valle eventualmente se “cubrió de arena”.



Geomorphology

Alain Winckell

Geomorfología

Major tectonic features in Baja California define the geomorphological characteristics of the peninsula. The SSE-NNW trending Elsinore fault, located in the easternmost part of the watershed, is the origin of the huge La Rumorosa escarpment. Associated with this fault is a major tectonic block that is inclined topographically to the west. The watershed, which is located on the western surface of this block, is comprised of streams that drain exclusively to the west. The watershed's geomorphology is a reflection of its tectonic history and morphogenetic processes and is comprised of four major landscapes.

Farthest east is a wide area of gentle to moderately undulating terrain that extends to the central part of the watershed. It is the remnant of an ancient erosion surface and is nearly 6,562 feet (2,000 m) in elevation in its highest reaches. This surface was created by the pre-Río Las Palmas drainage system that eroded the granitic and metamorphic rocks of the ancient peninsular sierras. On the western part of this landscape, the relatively flat surface changes to undulating landforms due to a more advanced dissection, associated with tor fields and inselbergs. This landscape also includes several “colluvial” landforms.

These areas of gentle to moderate relief are bordered on the west by a landscape that is highly dissected and steeply sloping. This area forms an arc that extends from the northern corner of the watershed to north of Pine Valley and south to the Valle de Las Palmas. The rocks in this arc are mainly volcanic, comprised largely of andesites and rhyolites. Also found are several areas of flat to gently undulating terrain. These are ancient marine erosional surfaces that were subsequently uplifted, constituting further proof of the influence of tectonic movement in the formation and distribution of landforms in the watershed.

Farther west, the landscape changes very abruptly in the coastal zone of Tijuana and Otay Mesa. Substantial mesas are found here, horizontal in the Otay Mesa area and slightly inclined on the south side of the Tijuana River. The mesa formations are comprised of loosely cemented sandstone and conglomerate that were deposited under marine conditions. These formations were uplifted to create marine terraces or mesas and subsequently dissected into numerous, steep-sided canyons.

Downstream from the rocky canyon in which Rodríguez Dam was constructed, the valley of the Tijuana River system becomes wider. A series of terraces occupy the valley sides. In the valley bottom is a large concrete channel that confines floods that formerly spread over large low-lying areas of Tijuana. Downstream from its confluence with the Río Alamar, the valley becomes flatter and wider as it extends imperceptibly into the lower valley and estuary in the United States.

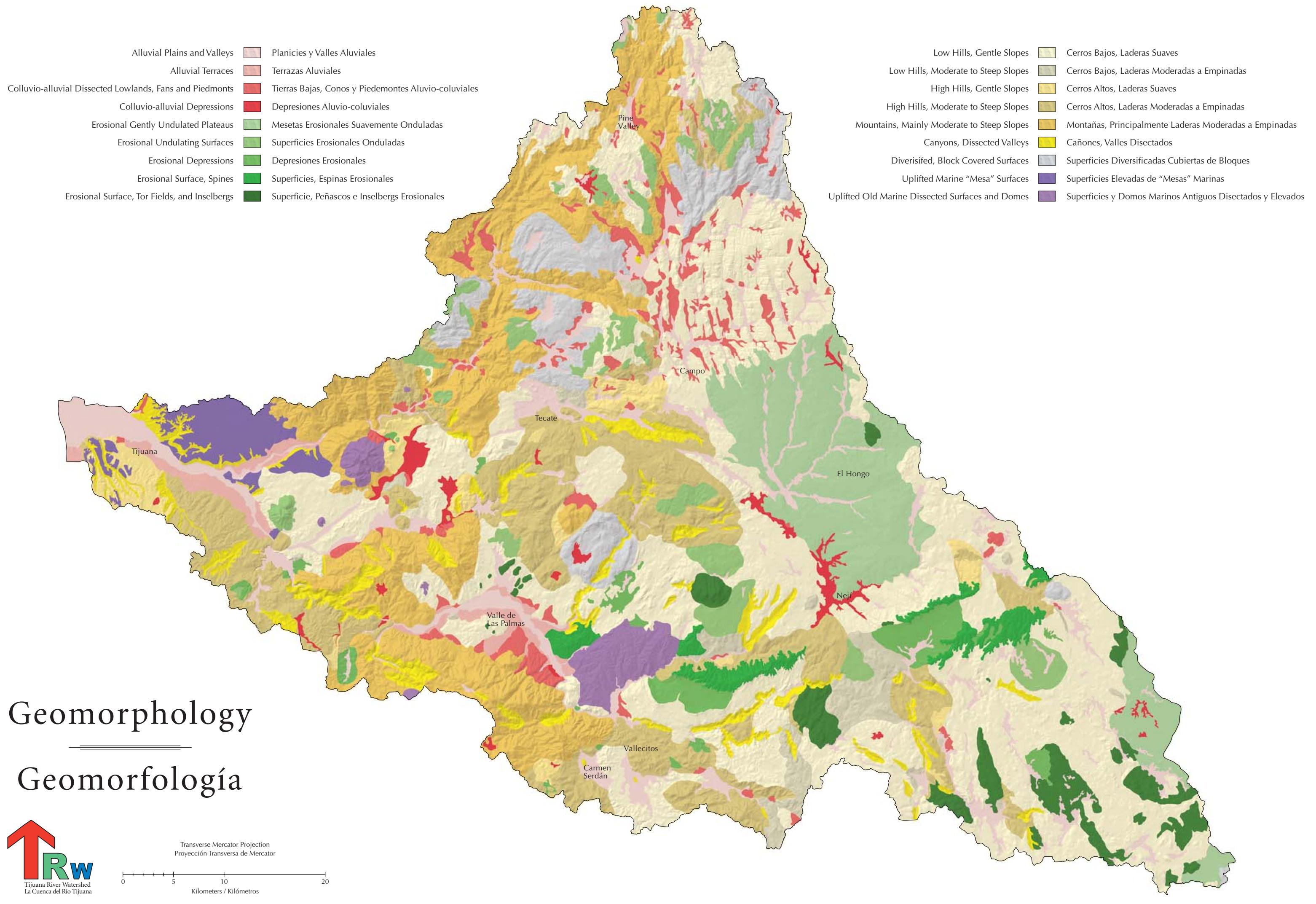
Los rasgos tectónicos principales de Baja California definen las características geomorfológicas de la península. La falla de Elsinore, con tendencia sur-sureste/norte-noroeste y ubicada en el extremo este de la cuenca, es el origen de la enorme escarpadura de La Rumorosa. Asociado con esta falla se encuentra un gran bloque tectónico que se inclina topográficamente hacia el oeste. La cuenca, la cual está ubicada en la superficie occidental de este bloque, consta de corrientes que drenan exclusivamente hacia el oeste. La geomorfología de la cuenca es un reflejo de su historia tectónica y de procesos morfogenéticos y comprende cuatro paisajes principales.

Al extremo este se encuentra un área amplia de terreno suave a moderadamente onulado que se extiende hacia la parte central de la cuenca. Es el vestigio de una superficie de erosión antigua y se eleva casi 2,000 metros en sus alcances máximos. Esta superficie fue creada por el sistema de desagüe previo al Río Las Palmas. Este sistema erosionó las rocas graníticas y metamórficas de las antiguas sierras peninsulares. En la parte oeste de este paisaje, la superficie relativamente plana cambia a formas onduladas debido a una disección más avanzada asociada con peñascos y montes isla (inselbergs). Este paisaje también incluye varias formas fisiográficas “coluviales”.

Estas áreas de relieves suaves a moderados están delimitadas en el lado oeste por un paisaje que está muy diseccionado y escarpado. Esta área forma un arco que se extiende desde la punta norte de la cuenca hacia el norte de Pine Valley y hacia el sur al Valle de Las Palmas. Las rocas en este arco son primordialmente volcánicas y constan en gran parte de andesitas y riolitas. También se encuentran varias áreas de terreno plano a suavemente onulado. Éstas son antiguas superficies marinas erosionadas que posteriormente se elevaron, constituyendo pruebas adicionales de la influencia del movimiento tectónico en la formación y distribución de formas fisiográficas en la cuenca.

Más hacia el oeste, el paisaje cambia muy abruptamente en la zona costa de Tijuana y en la Mesa de Otay. Aquí se encuentra un número considerable de mesas, horizontales en el área de Mesa de Otay y ligeramente inclinadas en el lado sur del Río Tijuana. Las formaciones de las mesas constan de arenisca y conglomerado levemente cementados que fueron depositados bajo condiciones marinas. Estas formaciones fueron elevadas para crear terrazas o mesas marinas y posteriormente se diseccionaron formando numerosos cañones de costados escarpados.

Aguas abajo del cañón rocoso donde se construyó la Presa Rodríguez, el valle del sistema del Río Tijuana se hace más amplio. Un conjunto de terrazas ocupa los costados del valle. En el fondo del valle se encuentra un canal grande de concreto que confina las inundaciones que antes se extendían por extensas áreas bajas de Tijuana. Aguas abajo de su confluencia con el Río Alamar, el valle se torna más plano y ancho al extenderse de modo imperceptible hacia la parte baja del valle y el estuario en los Estados Unidos.



Soils

Great Groups

Soil development within the Tijuana River Basin is controlled by three major factors: (1) semiarid (xeric) climate; (2) sparse vegetation dominated by brush and short grasses; and (3) geomorphic environments with little vegetation cover or sub-soils comprised of high shrink-swell clays.

On the U.S. side, a detailed soil survey provides very specific descriptions and taxonomy of soil types based on the Seventh Approximation. The Mexican side of the watershed has comparable soils, but existing surveys are scant and based on different taxonomic criteria that are difficult to correlate with the U.S. system.

The lower basin and foothills on the U.S. side are dominated by Entisols and Inceptisols. Here, active floodplains and eroding slopes prevent the soil forming factors of climate and vegetation from creating mature profiles. Further inland, at slightly higher elevations with more stable vegetative cover, zonal soils (mature horizon development) are dominated by Alfisols and Mollisols. Vertisols are found scattered throughout the basin, depending on the occurrence of high shrink-swell clays (Montmorillonite) and other smectites in the parent material.

Soil polygons on the map of the Mexican section are highly generalized because of limited field surveys. The Food and Agriculture Organization (FAO) soil taxonomy used in Mexico is based on the mix of the old Russian classification (Dokuchaiev) and some categories from the Seventh Approximation. The “series” is the most definitive taxon in soil classification and is comparable to the “species” in biological taxonomies. There are 33 series recognized within the U.S. portion of the watershed. This compares to 56 series in all of San Diego County. In the Mexican portion of the basin, it is possible to correlate only 19 of the 33 series with some degree of accuracy. Because only 60% of the soils in Mexico can be correlated with those in the United States at the series level, it is necessary to represent the soils of the two countries at a more generalized level, the “great group.” At this level, the FAO and Seventh Approximation classifications are more easily compared.

Ned Greenwood

Suelos

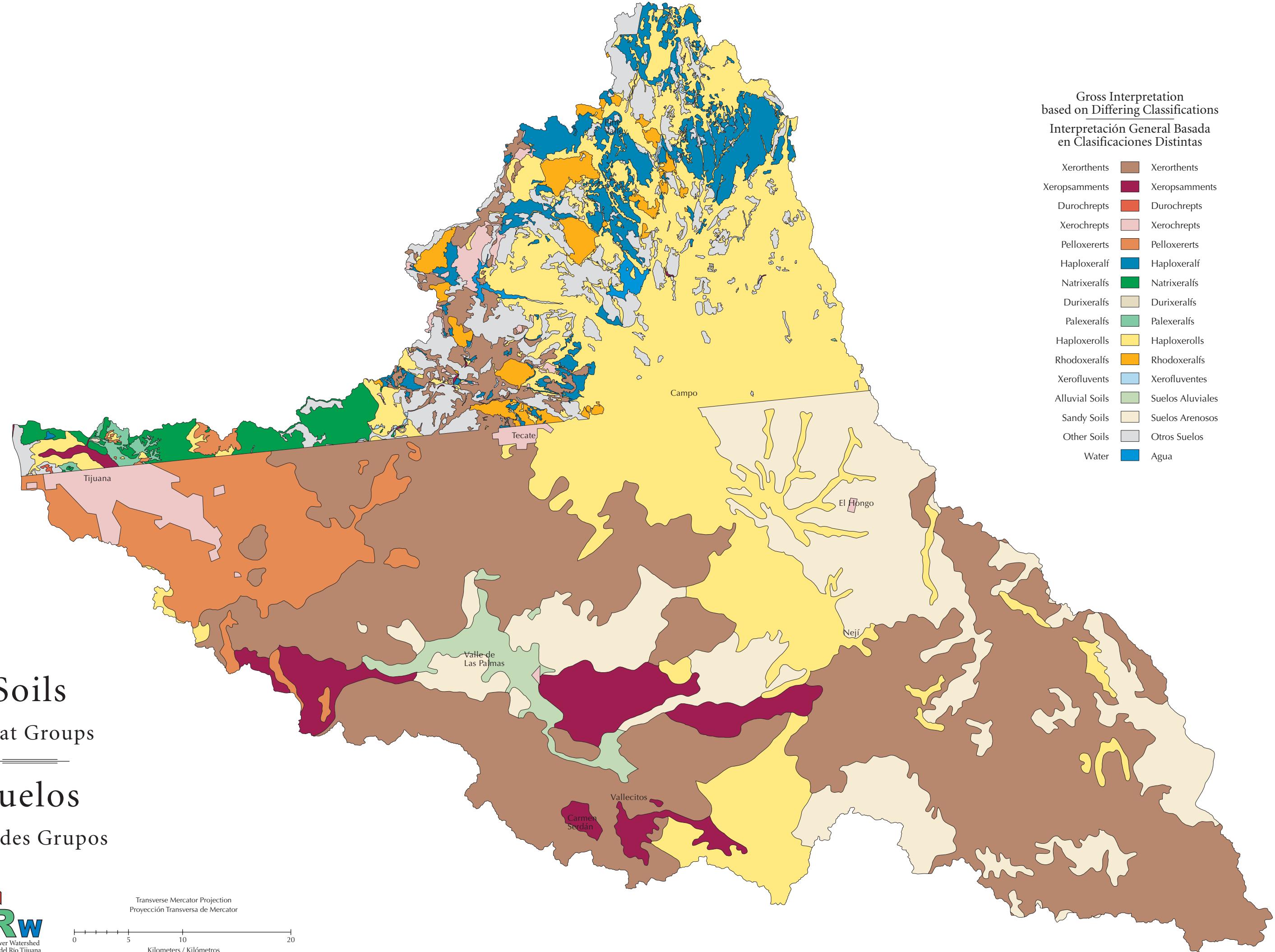
Grandes Grupos

Tres factores fundamentales controlan el desarrollo de suelos dentro de la Cuenca del Río Tijuana: (1) el clima semiárido (xérico); (2) la vegetación escasa dominada por matorrales y pastizales; y (3) la geomorfología con poca cobertura vegetal o subsuelos compuestos de arcillas con gran tendencia a expandirse o contraerse.

En el lado estadounidense, un reconocimiento detallado de los suelos proporciona descripciones y taxonomía muy específicas de los tipos de suelos basadas en la Séptima Aproximación. Del lado mexicano, la cuenca tiene suelos comparables, pero los estudios que existen son escasos y basados en diferentes criterios taxonómicos que son difíciles de correlacionar con el sistema estadounidense.

Los Entisoles e Inceptisoles dominan la parte baja de la cuenca y las estribaciones en el lado estadounidense. Aquí, las llanuras de inundación activas y las laderas erosionadas evitan que los factores del clima y de la vegetación que forman los suelos creen perfiles maduros. Más hacia el interior, a elevaciones ligeramente mayores con una cobertura vegetal más estable, los suelos zonales (desarrollo del horizonte maduro) son dominados por los Alfisoles y Molisoles. Los Vertisoles se encuentran esparcidos por toda la cuenca, dependiendo del contenido de arcillas con gran tendencia a expandirse o contraerse (Montmorilonita) y otras esmectitas en el material de origen.

Los polígonos del suelo en el mapa de la sección mexicana son altamente generalizados debido a los reconocimientos limitados en el campo. La taxonomía de los suelos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) utilizada en México se basa en una mezcla de la antigua clasificación rusa (Dokuchaiev) y de algunas categorías de la Séptima Aproximación. La “serie” es el taxón más definitivo en la clasificación de suelos y es comparable con las “especies” de las taxonomías biológicas. Se reconocen 33 series dentro de la porción estadounidense de la cuenca. Esto se compara con las 56 series en todo el Condado de San Diego. En la porción mexicana de la cuenca, es posible correlacionar solamente 19 de las 33 series con algún grado de exactitud. Debido a que únicamente el 60% de los suelos en México pueden ser correlacionados con los estadounidenses a nivel serie, es necesario representar los suelos de ambos países en un nivel más general, “el gran grupo”. A este nivel, las clasificaciones de la FAO y de la Séptima Aproximación son más fácilmente comparadas.



Soils

Integrated Predictive Model, 1997

Two significant differences between United States and Mexican soils data make it extremely difficult, if not impossible, to generate a logically integrated soils distribution map of the watershed by simply joining the two datasets at the border. First, as indicated in the previous discussion of soils in the watershed, the two databases result from the application of distinctly different taxonomic systems that are not easily rectified. The Seventh Approximation classification—found on United States maps—groups soils according to their properties such as color, moisture, and degree of weathering. In contrast, the United Nations' Food and Agriculture Organization (FAO) classification employed on Mexican maps is based largely on the conditions under which the soil formed. Second, the two datasets differ greatly in terms of the scale and generalization of soils polygons. On the Mexican side, soils boundaries are generalized at a scale of 1:250,000, whereas those in the United States are consistent with a scale of 1:24,000, a difference of more than 10 times. Scale determines the minimum mapping unit (MMU), the smallest area of the earth's surface that can be represented on a map. At a scale of 1:250,000, the MMU is approximately 1.23 hectares (3.03 acres). The comparable value at the 1:24,000 scale is 0.01 hectares (0.02 acres), a difference in area of more than 100 times (see figure below). The extreme differences of soil classification, scale, and generalization mean that the two datasets are largely incompatible for integration into a single database.

Given the difficulties of harmonizing distinctly different soils datasets, the approach employed here involved developing a spatial model of the relationships between the locations of different soils types and the locations of selected physical characteristics on one side of the border. The model was then applied through extrapolation techniques to the other side of the border. This map was created by correlating soils at the subgroup level on the United States side with precipitation amount, elevation, slope steepness, slope aspect, vegetation type, and geologic type. These modeled relationships were employed to predict soils types at the Great Group Level of the Seventh Approximation Taxonomy in the Mexican portion of the watershed. The result is a modeled, integrated soils map of the entire watershed.

David C. Askov

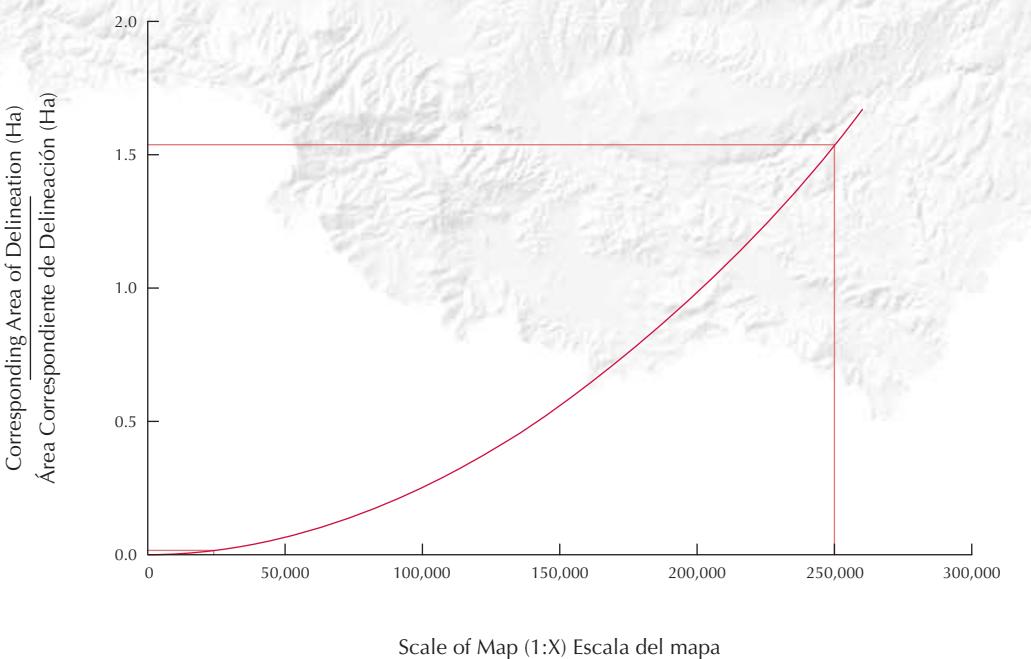
Suelos

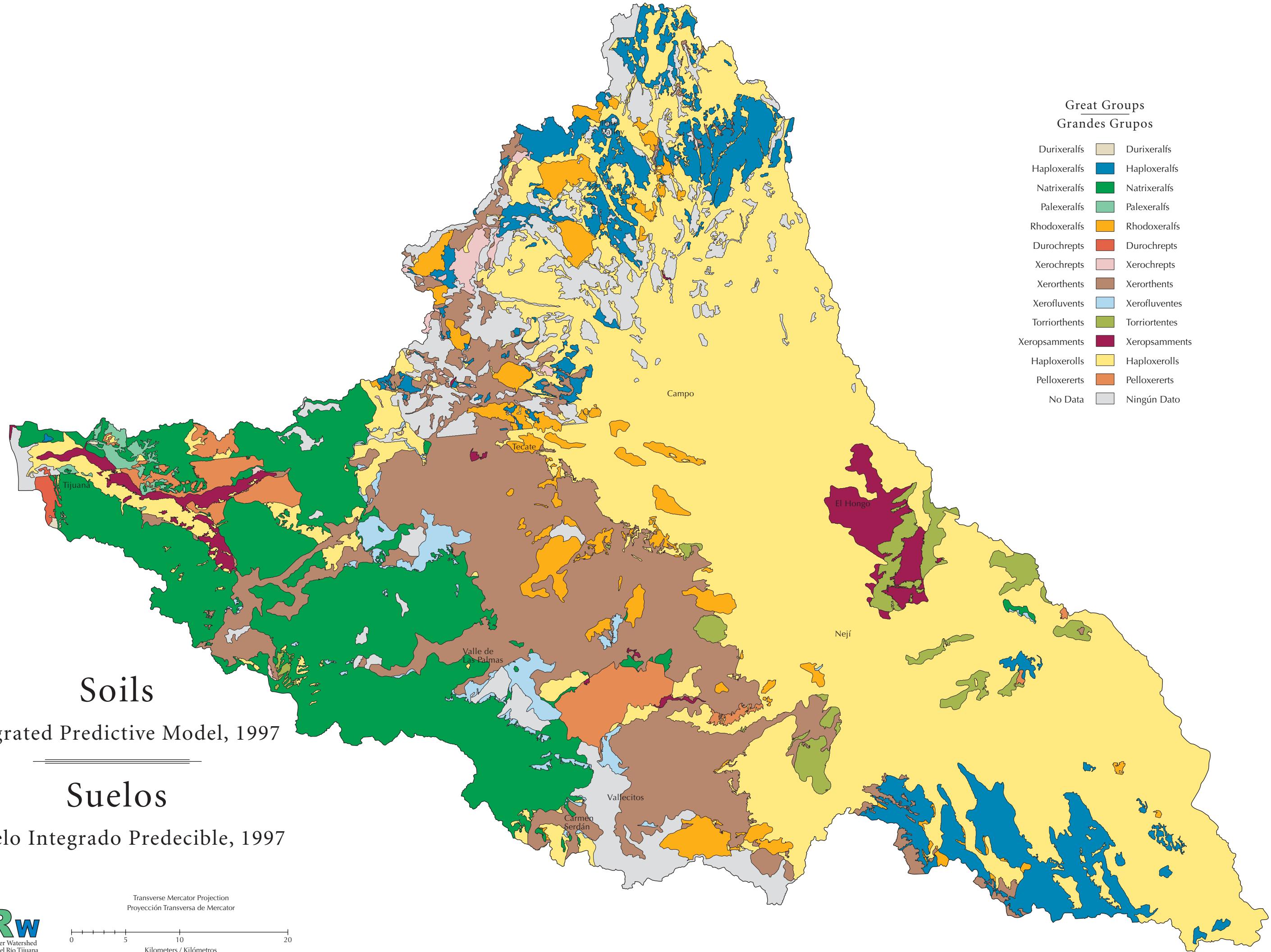
Modelo Integrado Predecible, 1997

Dos importantes diferencias entre los datos de suelos de los Estados Unidos y de México hacen sumamente difícil, si no es que imposible, generar un mapa de distribución de suelos de la cuenca que esté integrado de manera lógica, mediante la sencilla unificación de dos conjuntos de datos en la frontera. Primero, como se indicó en la discusión previa sobre suelos en la cuenca, las dos bases de datos resultan de la aplicación de dos sistemas taxonómicos claramente diferentes que no son fáciles de rectificar. La clasificación de la Séptima Aproximación—que se encuentra en los mapas de los Estados Unidos—agrupa los suelos de acuerdo con sus propiedades, como el color, humedad y grado de meteorización. En contraste, la clasificación de la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) de las Naciones Unidas empleada en los mapas mexicanos se basa en gran medida en las condiciones bajo las cuales se forma el suelo. Segundo, los dos conjuntos de datos difieren sumamente en términos de la escala y generalización de los polígonos de los suelos. En el lado mexicano, los límites de los suelos son generalizados en una escala de 1:250,000, mientras que los de los Estados Unidos son consistentes con una escala de 1:24,000, una diferencia de más de 10 veces. La escala determina la unidad cartográfica mínima (MMU, en inglés), el área más pequeña de la superficie de la tierra que se puede representar en un mapa. En una escala de 1:250,000, la MMU es de aproximadamente 1.23 hectáreas. El valor comparable en una escala de 1:24,000 es de 0.01 hectáreas, una diferencia en área de más de 100 veces (ver la figura abajo). Las diferencias extremas de clasificación, escala y generalización de suelos significan que los dos conjuntos de datos son sumamente incompatibles para ser integrados en una sola base de datos.

Dadas las dificultades en la harmonización de conjuntos de datos de suelos marcadamente diferentes, el enfoque que se empleó aquí fue por medio del desarrollo de un modelo espacial de las relaciones entre las ubicaciones de los diferentes tipos de suelos y las ubicaciones de

características físicas seleccionadas en un lado de la frontera. El modelo fue entonces aplicado mediante técnicas de extrapolación en el otro lado de la frontera. Este mapa fue elaborado correlacionando los suelos a nivel de subgrupo en el lado estadounidense con la cantidad de precipitación, elevación, escarpaduras, aspecto de las pendientes, tipo de vegetación y tipo geológico. Estas relaciones modeladas fueron utilizadas para pronosticar los tipos de suelos a Nivel de Gran Grupo de la Taxonomía de la Séptima Aproximación en la parte mexicana de la cuenca. El resultado es un mapa de suelos modelado e integrado de la cuenca entera.





Temperature

Mean Annual, 1972–1989

The Tijuana River Watershed displays a wide range of average temperatures due to its considerable elevational extent that ranges from sea level to 6,378 feet (1,944 m). In the lower elevations, annual mean temperatures generally range between 16°C (61°F) and 19°C (66°F). The highest elevations (and lowest temperatures) occur in the extreme north and southeast portions of the watershed, where mean annual temperatures range between 9°C (48°F) and 11°C (52°F). Although daytime temperatures in the high elevation areas are somewhat lower than those closer to sea level, the greatest temperature differences occur at night, especially during the winter.

Proximity to the coast exerts a secondary effect on temperature in the western portion of the watershed. The cool waters along the coast moderate daytime high temperatures, particularly in the summer, and keep the annual mean temperatures slightly below those in the inland areas. This effect is typified at Presa Rodríguez, which has a higher mean temperature than the coastal zone just a few kilometers to the west, despite its 1,788 foot (545 m) elevation.

The entire watershed exhibits a typical extratropical Northern Hemisphere seasonal temperature pattern, with highest values occurring in July-August, and minima in December through February. The seasonality is far more pronounced at higher elevations than at the lower sites. For example, Chula Vista, which is just outside of the watershed near sea level, has an average temperature of about 21°C (70°F) in July and 14°C (57°F) in December, for a 7°C (45°F) difference. Cuyamaca, at 4,639 feet (1,414 m) in elevation, has the same average July temperature of 21°C (70°F) as Chula Vista, but its December average of 5°C (41°F) yields a seasonal difference of 16°C (61°F).

The watershed typically exhibits spatially uniform year-to-year variations. In other words, the entire region is likely to experience warm, cool, or normal years, rather than having some areas subjected to warmth while others experience lower than normal temperatures. However, there have been some interesting departures from this pattern. For example, 1989 generally brought normal temperatures to the watershed, but Presa Rodríguez experienced an anomalously warm season. Also, during the 1972–1989 period, Chula Vista exhibited a discernable warming trend not shown at the other stations in the basin. This apparent warming could be due to urban growth, but more information would be required to verify this potential cause.

Edward Aguado

Temperatura

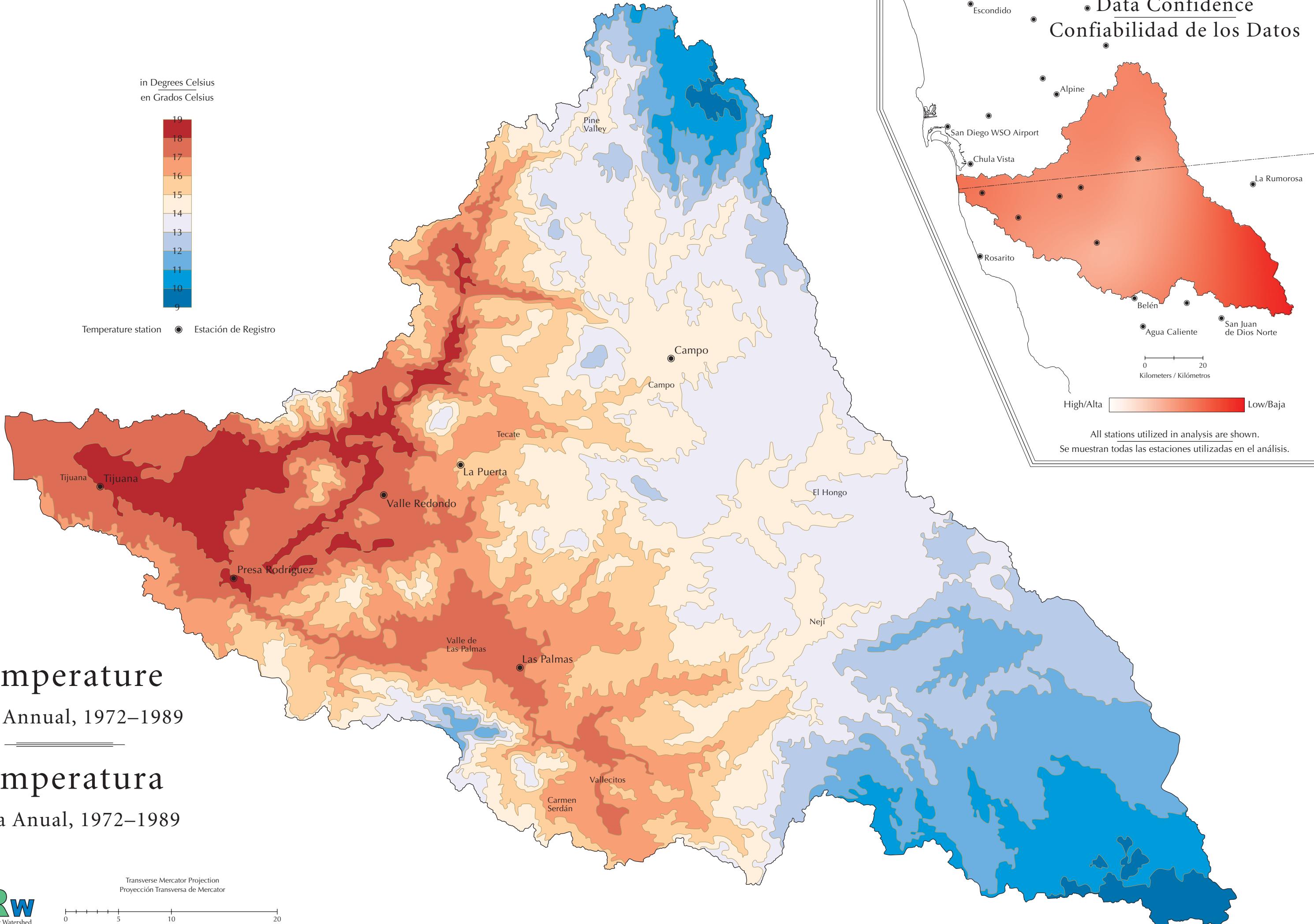
Media Anual, 1972–1989

La Cuenca del Río Tijuana muestra una amplia variación de temperaturas medias debido a su considerable rango altitudinal que oscila desde el nivel del mar hasta los 1,994 metros. En las áreas más bajas, las temperaturas medias anuales varían entre 16°C (61°F) y 19°C (66°F). Las elevaciones mayores (y temperaturas más bajas) ocurren en las partes extremas del norte y sureste de la cuenca, donde las temperaturas medias anuales varían entre 9°C (48°F) y 11°C (52°F). Aunque las temperaturas diurnas en las áreas de alta elevación son algo más bajas que las de las áreas más cercanas al nivel del mar, las diferencias mayores de temperatura ocurren en la noche, especialmente durante el invierno.

La proximidad a la costa ejerce un efecto secundario en la temperatura de la parte oeste de la cuenca. Las frescas aguas a lo largo de la costa moderan las altas temperaturas diurnas, especialmente en el verano, y mantienen las temperaturas medias anuales ligeramente por debajo de las temperaturas en áreas interiores. Este efecto es representado en la Presa Rodríguez, la cual tiene una temperatura media más elevada que la zona costa sólo a unos cuantos kilómetros hacia el oeste, a pesar de su elevación de 545 metros.

La cuenca entera muestra un patrón típico de temperaturas extra tropical de temporada del Hemisferio Norte. Los valores mayores ocurren durante julio y agosto y son mínimos de diciembre a febrero. El factor estacionalidad es mucho más pronunciado en altitudes de mayor elevación que en los sitios más bajos. Por ejemplo, Chula Vista, la cual se encuentra afuera de la cuenca cerca del nivel del mar, tiene una temperatura media de unos 21°C (70°F) en julio y 14°C (57°F) en diciembre, una diferencia de 7°C (45°F). Cuyamaca, a una elevación de 1,414 metros, tiene la misma temperatura media de julio de 21°C (70°F), como Chula Vista, pero su promedio de diciembre de 5°C (41°F) genera una diferencia de temporada de 16°C (61°F).

La cuenca típicamente presenta variaciones espaciales uniformes de un año a otro. Es decir, es probable que toda la región tenga años cálidos, frescos o normales, en vez de tener algunas áreas expuestas a temperaturas cálidas mientras que otras tienen temperaturas por debajo de lo normal. Sin embargo, se han registrado algunas variaciones interesantes de este patrón. Por ejemplo, en general, el año de 1989 presentó temperaturas normales en la cuenca, pero la Presa Rodríguez vivió una temporada anómala de calor. Asimismo, durante el periodo de 1972–1989, Chula Vista mostró una tendencia evidente de calentamiento que no se mostró en las otras estaciones de la cuenca. Este calentamiento aparente podría deberse al crecimiento urbano, pero se necesitaría de información adicional para verificar esta posible causa.

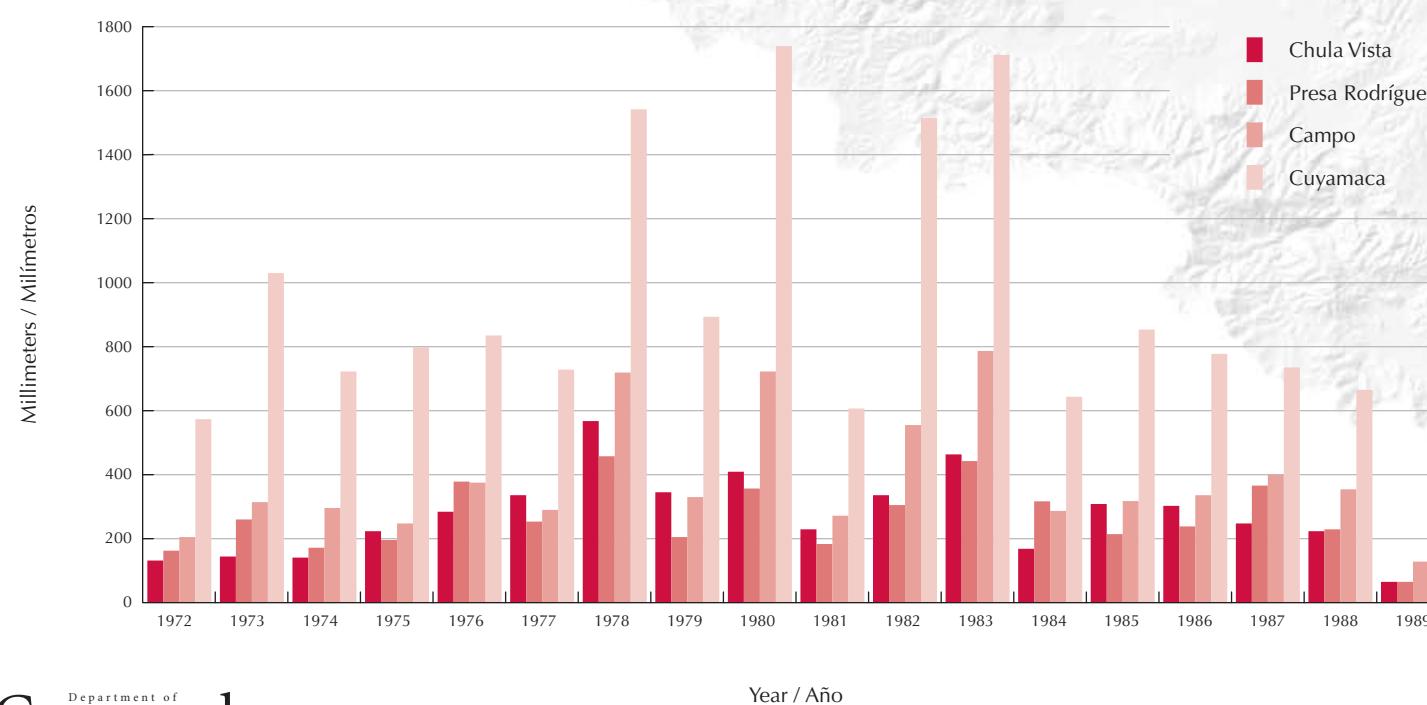


Precipitation

Average Annual, 1972–1989

Precipitation varies widely throughout the watershed, with annual mean values ranging from just over eight inches (200 mm) to nearly 43 inches (1,100 mm). Elevation exerts a strong effect on precipitation in the watershed. As air flows across a barrier, it is forced to rise, which promotes the formation of clouds and precipitation. However, there is no exact correlation between elevation and precipitation amounts because slope aspect relative to prevailing winds is an important factor. Thus, the highest mapped precipitation values in the Tijuana River Watershed occur just to the west of the two highest elevation areas: Mt. Laguna in the north and the Sierra Juárez mountains in the extreme southeast. Although this map accurately reflects the general pattern of precipitation across the watershed, the paucity of observation stations creates some uncertainty regarding actual amounts. This uncertainty is greater when mapping precipitation distributions rather than temperature patterns, because the former is subject to greater spatial variability in most physical environments.

The entire basin exhibits the classic Mediterranean seasonal precipitation pattern in which the overwhelming majority of precipitation occurs from October through March, with summers being particularly dry. Cool season precipitation occurs mostly from the passage of cold fronts moving across the Pacific Ocean or southward along the coast from the Gulf of Alaska. The latter storms tend to be colder than the former, and have a greater likelihood of depositing snow at the higher elevations. Precipitation in the late summer occasionally arrives in the form of dissipating tropical storms off the coast of southern Baja California. Though these precipitation events normally yield low rainfall amounts, they can occasionally produce significant downpours that result in flash floods.

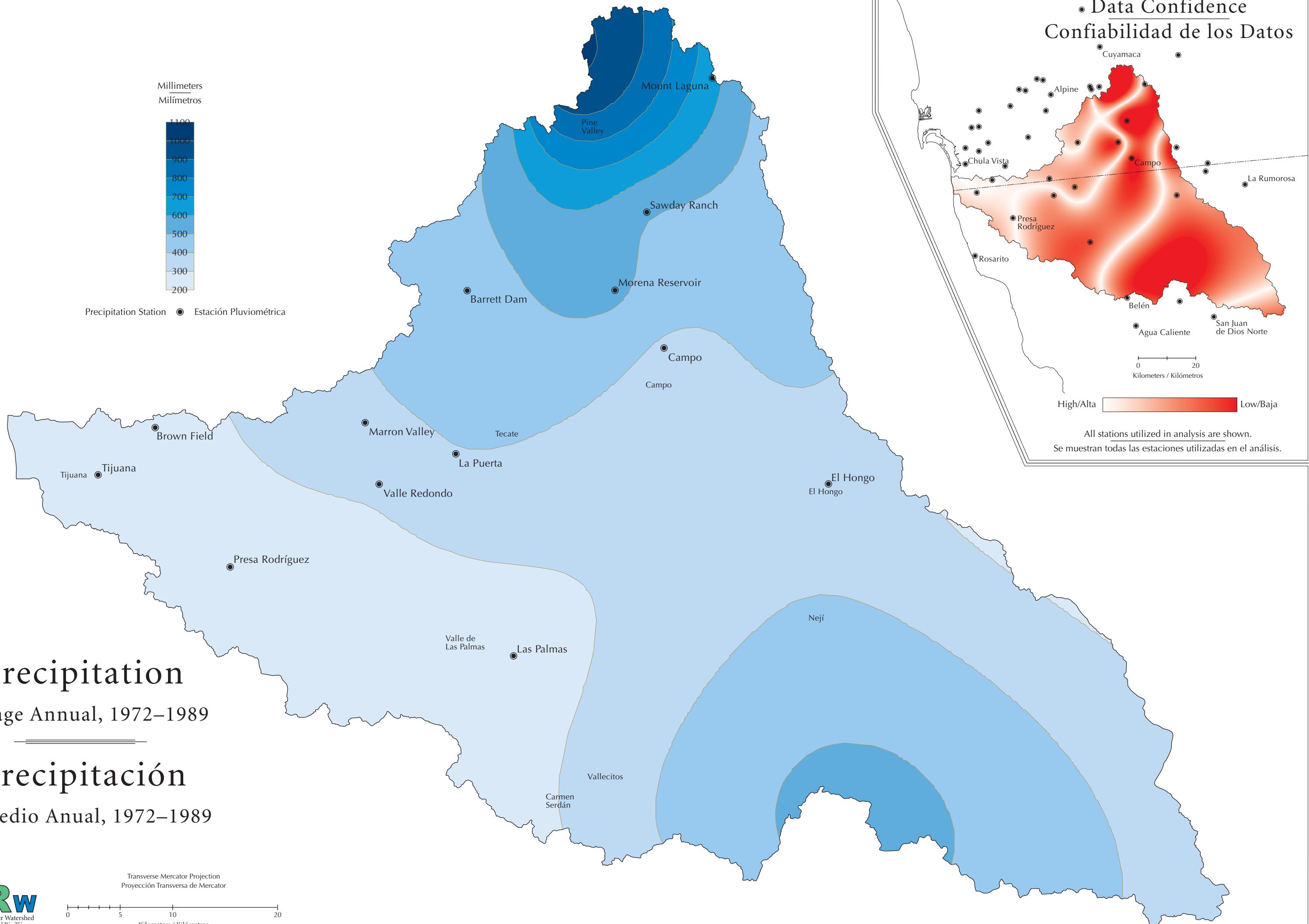


Precipitación

Promedio Anual, 1972–1989

La precipitación difiere mucho en la cuenca, con valores anuales medios que van desde apenas arriba de los 200 milímetros (mm) hasta casi 1,100 mm. La elevación ejerce un fuerte efecto en la precipitación en la cuenca. Al fluir el aire a través de una barrera, éste se ve forzado a elevarse, lo cual propicia la formación de nubes y precipitación. Sin embargo, no existe una correlación exacta entre la elevación y las cantidades de precipitación porque el aspecto de las pendientes relativo a los vientos prevalecientes es un factor importante. Por lo tanto, los valores de precipitación más altos que se indican en el mapa de la Cuenca del Río Tijuana ocurren justo hacia el oeste de las dos áreas de mayor elevación: Mt. Laguna al norte y la Sierra Juárez en el extremo sureste. Aunque este mapa refleja acertadamente el patrón general de la precipitación a través de la cuenca, la escasez de estaciones de observación crea incertidumbre con respecto a las cantidades reales. Esta incertidumbre es mayor cuando se incorporan al mapa las distribuciones de la precipitación en vez de los patrones de temperatura, ya que las distribuciones están sujetas a una variabilidad espacial mayor en gran parte de los ambientes físicos.

Toda la cuenca muestra el patrón clásico de precipitación mediterránea en la que gran parte de la precipitación ocurre de octubre a marzo, y los veranos son especialmente secos. La precipitación estacional fresca ocurre en mayor parte con el paso de frentes fríos a través del Océano Pacífico o hacia el sur, a lo largo de la costa desde el Golfo de Alaska. Las tormentas del Golfo tienden a ser más frías que las del Pacífico, y tienen una mayor probabilidad de depositar nieve a elevaciones mayores. La precipitación a fines de verano llega ocasionalmente en la forma de tormentas tropicales en disipación desde la costa del sur de Baja California. Aunque estos sucesos de precipitación normalmente producen bajas cantidades de lluvia, ocasionalmente pueden producir importantes aguaceros que resultan en inundaciones repentinas.



Precipitation

Modeled Mean Annual, 1972–1989

This precipitation map was generated using a spatial autoregressive model that employs Maximum Likelihood Estimation. This method accounts for the spatial autocorrelation of precipitation data and estimates unbiased and efficient parameters from relatively few rainfall observations. This provides an accurate interpolation of precipitation without the limitations of other regression or geostatistical methods.

The source data consisted of 18 years of precipitation station data for 44 stations in and around the watershed. The stations were not evenly distributed. In some areas the stations were clustered and in other areas the stations were sparsely distributed. Precipitation estimates were required for large areas between precipitation stations. Estimates were required for areas between clustered stations as well. It cannot be assumed that rainfall varies linearly between two locations. For example, two stations in close proximity might be very different in terms of elevation or other variables that control precipitation.

A good way to test for spatial dependence is to start with Ordinary Least Squares (OLS)—a linear interpolation method—and test for spatial autocorrelation. OLS fit a line to a set of points in two-dimensional space and a plane to a set of points (precipitation station values) in three-dimensional space (the study area). OLS were applied to the precipitation data, with elevation, latitude, and longitude included as variables in the interpolation process. The results indicated that elevation was a dominant factor in explaining precipitation.

Moran's I test was applied for the presence of spatial dependence. The results of this test indicated dependence. The OLS assumptions were not met. Therefore, OLS would be “mis-specified” as a data-generating process for precipitation for this watershed. The dependence could be in the error component or the spatial component; Lagrange multiplier tests indicated dependence primarily in the spatial component. Further testing showed the presence of spatial heterogeneity between the precipitation stations in the United States and the stations in Mexico. With this information, an equation was developed that estimated mean annual precipitation using a Maximum Likelihood Lag model and 30-meter (98 ft) grid cells.

This precipitation map resulted from the analysis discussed above. Each 30-meter cell represents an estimated value for mean annual precipitation. The estimated values were compared with observed values and a correlation coefficient of 0.87 was computed. This is a high correlation and the results suggest this is a good approach to estimating precipitation for the watershed, given the lack of precipitation stations.

Kurtis S. Baron

Precipitación

Media Anual Modelada, 1972–1989

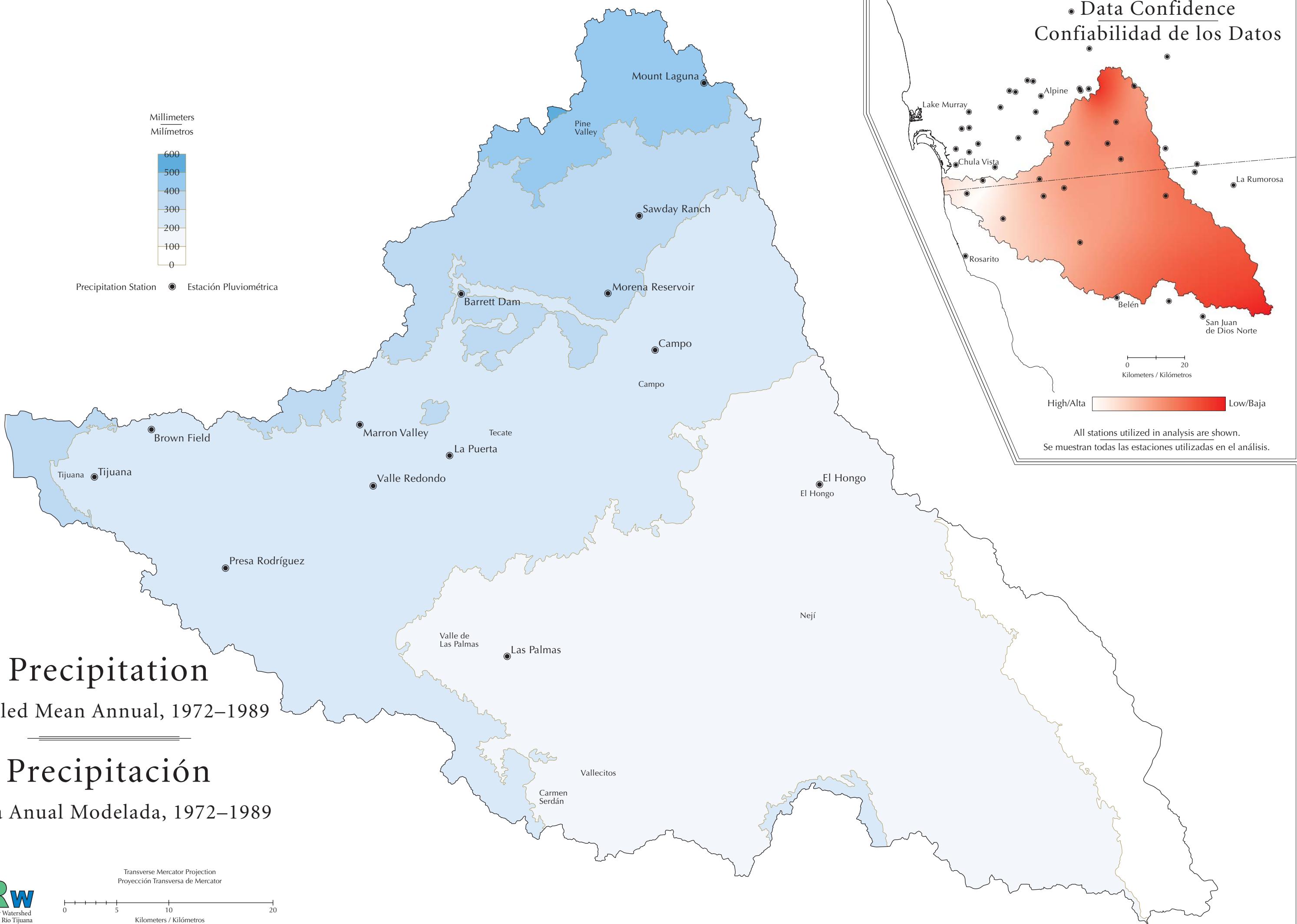
Este mapa de precipitación fue elaborado mediante el uso del modelo espacial autorregresivo, el cual emplea la Estimación Máxima de Verosimilitud. Este método considera la autocorrelación espacial de los datos de precipitación y calcula los parámetros imparciales y eficientes de relativamente pocas observaciones de la lluvia. Esto proporciona una interpolación precisa de la precipitación sin las limitaciones de otros métodos regresivos o geoestadísticos.

La fuente de información consiste de 18 años de datos de precipitación para las 44 estaciones pluviométricas tanto dentro como alrededor de la cuenca. Las estaciones no fueron distribuidas equitativamente. En algunas áreas las estaciones fueron agrupadas y en otras áreas fueron distribuidas en forma dispersa. Se requirieron estimaciones de la precipitación para las grandes áreas entre las estaciones pluviométricas. También se requirieron estimaciones para las áreas entre las estaciones agrupadas. No se puede suponer que la precipitación varía linealmente entre dos ubicaciones. Por ejemplo, dos estaciones con estrecha cercanía pueden ser muy diferentes en cuanto a la elevación y otros variables que controlan la precipitación.

Una buena manera de probar la dependencia espacial es empezar con el uso de mínimos cuadrados ordinarios (MCO)—un método de interpolación lineal—y una prueba de autocorrelación espacial. Los MCO colocan una línea en un conjunto de puntos en un espacio bidimensional y un plano con un conjunto de puntos (valores de las estaciones pluviométricas) en un espacio tridimensional (el área de estudio). Los MCO fueron aplicados a los datos de precipitación, con la elevación, latitud y longitud incluidos como variables en el proceso de interpolación. Los resultados indicaron que la elevación fue un factor dominante en la explicación de la precipitación.

La prueba Moran I se aplicó para la presencia de dependencia espacial. Los resultados de esta prueba indicaron dependencia. Las suposiciones de los MCO no fueron cumplidas. Por lo tanto, los MCO serían “especificados erróneamente” como un proceso generador de datos de la precipitación de esta cuenca. La dependencia podría estar en el componente error o en el componente espacial; las pruebas de multiplicadores de Lagrange indican dependencia principalmente en el componente espacial. Pruebas adicionales mostraron la presencia de heterogeneidad espacial entre las estaciones pluviométricas en los Estados Unidos y las estaciones en México. Con esta información, se desarrolló una ecuación que calculó la precipitación media anual utilizando el modelo de Máxima Verosimilitud y una matriz de celdas regulares de 30 metros.

El mapa de la precipitación resultó del análisis mencionado anteriormente. Cada celda de 30 metros representa un valor calculado para la precipitación media anual. Los valores calculados fueron comparados con los valores observados y un coeficiente de correlación de 0.87 fue estimado. Ésta es una correlación elevada y los resultados sugieren que éste es un buen enfoque para estimar la precipitación de la cuenca, dada la falta de estaciones pluviométricas.



Hydrography

The Tijuana River is formed by two drainage networks from the United States and Mexico that merge in the City of Tijuana, about 11 miles (17 km) from the Pacific Ocean. Water in the Tijuana River flows within a concrete channel through the City of Tijuana. The water then enters the United States where it is conveyed in a more natural network through the Tijuana River Estuary and out to the ocean.

In the United States, the southwest trending stream network of the watershed is comprised principally of the Pine Creek, Cottonwood Creek, and the Campo Creek drainages. Two reservoirs, Barrett and Morena, store water, some of which is conveyed out of the Tijuana River Watershed via the Dulzura conduit into the Otay River Watershed to the north, where it is a source of water for the City of San Diego.

In Mexico, the drainage, which consists of two major sub-basins, is largely east to west reflecting the general westward inclination of the terrain. To the north is the lower Cottonwood Creek-Río Alamar drainage. To the south, the main river has different names: Arroyo Las Calabazas in the Juárez Mountains, Río Las Palmas in the middle section, and Río Tijuana to the north. From south to north, its main tributaries are Arroyo La Ciénega, Río Seco, and Arroyo El Florida. Rodríguez and El Carrizo reservoirs are the principal water storage facilities for the City of Tijuana. The latter is the terminus for water imported from the Colorado River and also serves the City of Tecate as an emergency reserve.

Due to Mediterranean-semiarid climatic conditions, stream flow is mostly intermittent, with maximum flow occurring from November through April. Drainage is modified by the four principal reservoirs in the system, widespread alteration of the natural landcover, and groundwater extraction.

The drainage network on this map was obtained by digitizing stream symbols on USGS 1:24,000-scale maps and INEGI 1:50,000-scale maps. Two steps were followed to create an integrated transboundary hydrographic network. First, Strahler Order 1 streams less than 3,035 feet (925 m) in length on INEGI maps were eliminated from the database. This resulted in a blue-line density approximately the same as that on USGS maps. Second, where appropriate, blue-line symbols were connected at the border to correctly represent transborder drainage patterns.

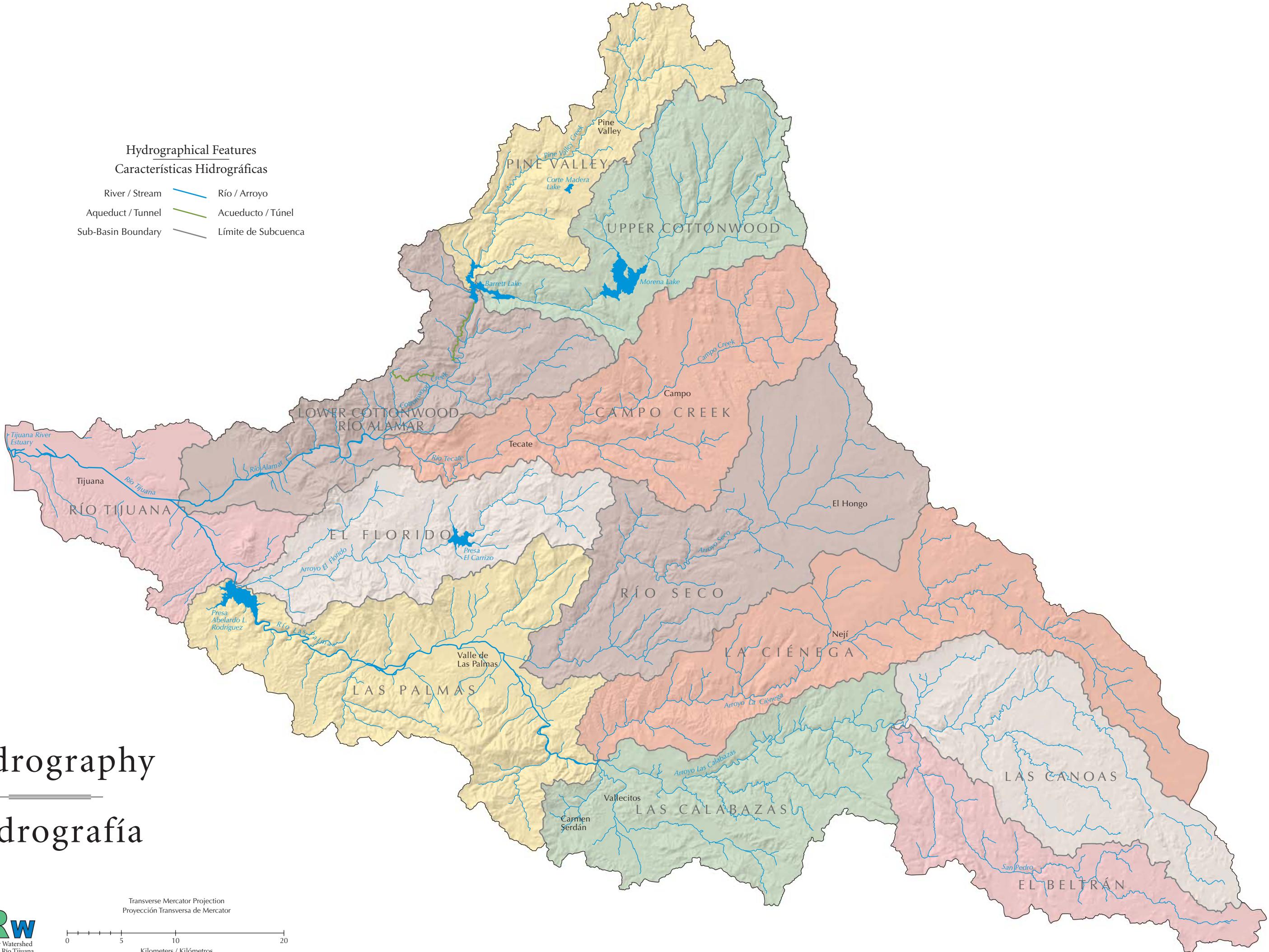
El Río Tijuana está formado por dos redes hidrográficas de los Estados Unidos y México que se juntan en la Ciudad de Tijuana, a unos 17 kilómetros del Océano Pacífico. El agua del Río Tijuana fluye dentro de un canal de concreto a través de la Ciudad de Tijuana. El agua entonces ingresa a los Estados Unidos donde es transportada en una red más natural por el Estuario del Río Tijuana y hacia el océano.

En los Estados Unidos, la red de arroyos de la cuenca que fluye hacia el suroeste está compuesta principalmente por los desagües de Pine Creek, Cottonwood Creek y Campo Creek. Dos represas, Barrett y Morena, almacenan agua, y una parte de ésta es transportada desde la Cuenca del Río Tijuana vía el conducto de Dulzura hacia la Cuenca del Río Otay hacia el norte, donde es una fuente de agua para la Ciudad de San Diego.

En México, el desagüe—que consiste de dos subcuencas principales—fluye en gran parte de este a oeste, lo que refleja la inclinación general del terreno hacia el oeste. La parte inferior del desagüe de Cottonwood Creek-Río Alamar se encuentra hacia el norte. En la parte sur, el río principal tiene diferentes nombres: Arroyo Las Calabazas en la Sierra Juárez, Río Las Palmas en la sección media y Río Tijuana hacia el norte. De sur a norte, sus tributarios principales son el Arroyo La Ciénega, Río Seco y Arroyo El Florida. Las presas Rodríguez y El Carrizo son los principales almacenes de agua para la Ciudad de Tijuana. Esta última es la terminal del agua importada del Río Colorado y también sirve a la Ciudad de Tecate como una reserva para casos de emergencia.

Debido a las condiciones climáticas mediterráneas y semiáridas, el flujo de las corrientes en su mayor parte es intermitente, y su máximo flujo ocurre de noviembre a abril. Las cuatro presas principales en el sistema, la alteración extendida de la cobertura del suelo natural y la extracción del agua subterránea modifican las escorrentías.

La red hidrográfica en este mapa fue obtenida mediante la digitalización de los símbolos de corrientes en mapas de escala de USGS a 1:24,000 y de INEGI a 1:50,000. Se siguieron dos pasos para crear una red hidrográfica transfronteriza integrada. Primero, las corrientes del Orden 1 de Strahler de menos de 925 metros de largo en los mapas de INEGI fueron eliminadas de la base de datos. Esto resultó en una densidad casi igual a la de las líneas azules de los mapas de USGS. Segundo, donde era adecuado, los símbolos de líneas azules fueron conectados en la frontera para representar de manera correcta los patrones transfronterizos de escorrentía.



Vegetation

Major Communities

Due to its geological, topographical, and climatological diversity, the watershed supports a wide variety of native plant communities. Vegetation types range in stature and elevation from sea level (e.g., coastal saltmarsh and southern foredunes) upwards to Sierran mixed coniferous forest that is found in the highest northern portion of the watershed where precipitation is greatest. Highlighted below are some of the more noteworthy vegetation types in the watershed. Common names and scientific names of major species are listed in the table on Plate 37.

Southern Coastal Marsh. Located at the mouth of the Tijuana River, the Tijuana River Estuary is one of the few salt marshes remaining in Southern California and northern Baja California. A description of marsh vegetation is found in the Tijuana River National Estuarine Research Reserve section of the atlas.

Coastal Sage Scrub and Chaparral. Two shrubland types, coastal sage scrub and chaparral, cover approximately 74% of the entire watershed. **Coastal sage scrub** is found almost entirely on drier, lower-elevation slopes that occur in the western half of the watershed. It formerly covered most of the land in and around Tijuana and on Otay Mesa that is presently developed. Sage scrub is characterized by aromatic, soft-leaved subshrubs that are largely summer deciduous. Common subshrub dominants are California sagebrush, flat-top buckwheat, San Diego sunflower, black sage, and white sage. Succulents are common in western, coastal portions of the watershed and include velvet cactus, Shaw's agave, and coastal beavertail cactus. Evergreen hard-leaved shrubs such as laurel sumac, lemonade berry, and sugar bush are often patchily distributed throughout. Coastal sage scrub provides critical habitat to a large number of rare, threatened, and endangered species, most notably the California gnatcatcher. Further, the border region, especially from Otay Mountain westward, serves as a vital dispersion link for the California gnatcatcher and other species between the United States and Mexico around the heavily developed western sector. **Chaparral** covers about 56% of the watershed and largely occurs at elevations above coastal sage scrub in the eastern half of the watershed. Taller statured and denser than sage scrub, chaparral is dominated by deep-rooted evergreen shrubs that have relatively tough, leathery leaves. Several chaparral types occur in the watershed, depending generally on elevation, slope, and aspect. Chamise chaparral is the most common in the westernmost portion of the chaparral's overall distribution in the watershed. It is dominated by chamise and occurs largely on flat or south-facing slopes in the lower, drier portion of the chaparral zone. Mixed chaparral occurs most commonly on relatively moist north-facing slopes and is a mixture of shrub species like scrub oak, holly-leaf redberry, chamise, and various species of California lilac and manzanita. Red Shank commonly forms large unbroken stands in the eastern, upper-elevation portions of the chaparral area of the watershed.

John O'Leary

Vegetación

Comunidades Principales

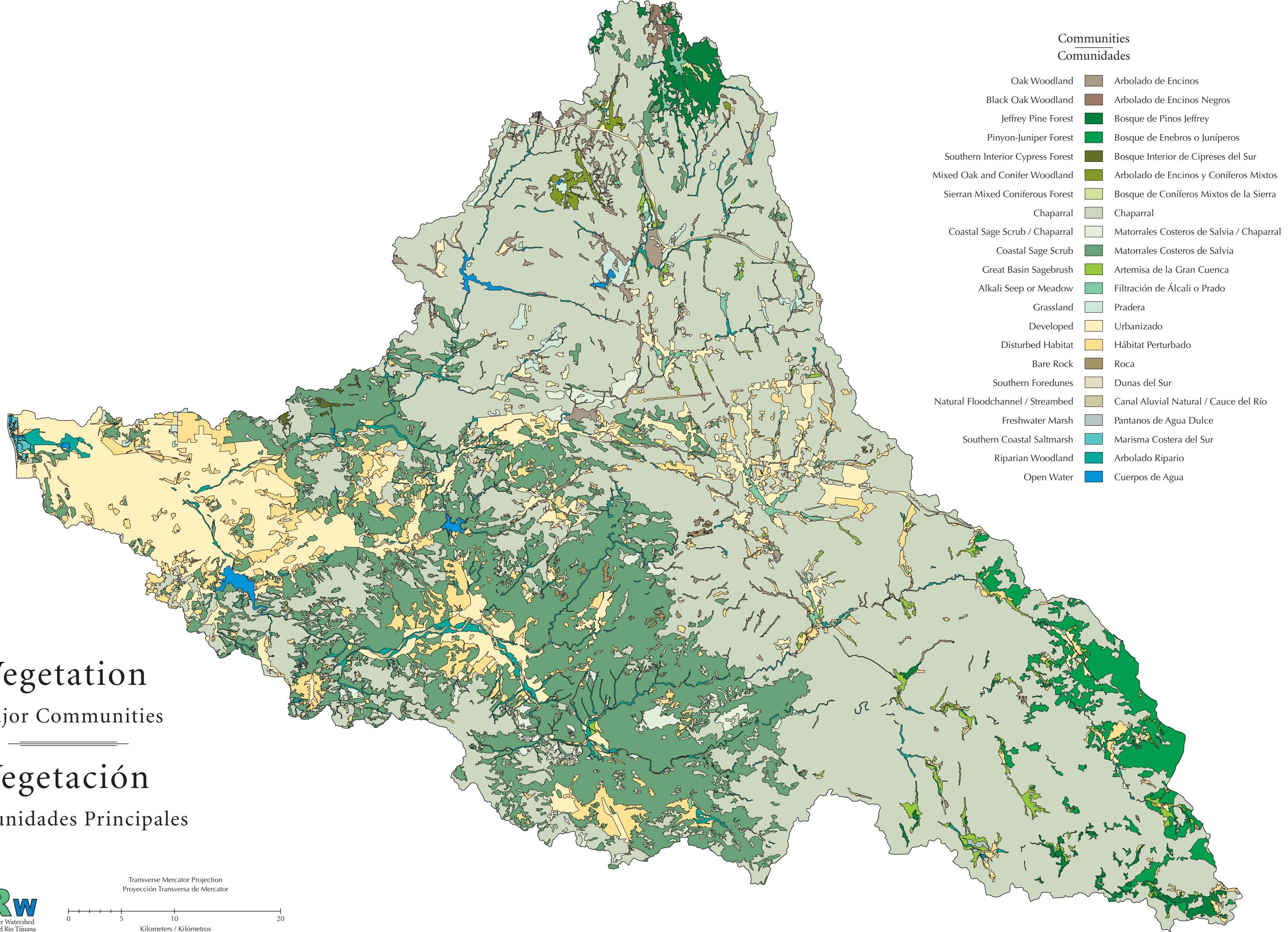
Debido a su diversidad geológica, topográfica y climatológica, la cuenca sustenta una amplia variedad de comunidades de plantas endémicas. Los tipos de vegetación varían en altura y elevación, desde el nivel del mar (por ej., marisma costera y dunas del sur) hasta la sierra con bosque mixto de conífera que se encuentra en la parte más alta al norte de la cuenca, donde la precipitación es mayor. A continuación se resaltan algunos de los tipos de vegetación más notables en la cuenca. Los nombres comunes y científicos de las especies principales se incluyen en el cuadro en la Ilustración 37.

Marisma Costera del Sur. Situado en la desembocadura del Río Tijuana, el Estuario del Río Tijuana es una de las pocas marismas que quedan en el sur de California y en el norte de Baja California. Una descripción de la vegetación de marisma se encuentra en la sección del atlas sobre la Reserva Nacional de Investigación del Estuario del Río Tijuana.

Matorral Costero de Salvia y Chaparral. Dos tipos de arbustos, el matorral costero y el chaparral, cubren aproximadamente el 74% de toda la cuenca. El **matorral costero de salvia** se localiza generalmente en laderas secas de menor elevación que se encuentran en la mitad occidental de la cuenca. Anteriormente cubría la mayor parte del territorio de Tijuana y sus alrededores y la Mesa de Otay, que en la actualidad está urbanizada. El matorral costero de salvia se caracteriza por arbustos pequeños aromáticos de hojas suaves y caducas durante el verano. Los subarbustos comunes que dominan son la artemisa de California, el alforfón, el girasol de San Diego, la salvia negra y la salvia blanca. Las suculentas son comunes en las partes occidentales y costeras de la cuenca. Éstas incluyen el cactus terciopelo, el maguey primavera y el nopal costero del castor. Los arbustos perennes de hojas ásperas como el zumaque de laurel, las bayas y los lentiscos con frecuencia se distribuyen en parches por todas partes. El matorral costero de salvia provee un hábitat importante para un gran número de especies raras, amenazadas o en peligro de extinción, más notablemente la perlita californiana. Asimismo, la región fronteriza, especialmente hacia el oeste de la Montaña de Otay, actúa como un enlace vital de dispersión para la perlita californiana y otras especies entre los Estados Unidos y México, en los alrededores del sector occidental que presenta un desarrollo excesivo. El **chaparral** cubre cerca del 56% de la cuenca y se da principalmente en elevaciones superiores al matorral costero de salvia en la mitad oriental de la cuenca. De mayor altura y densidad que el matorral de salvia, el chaparral se caracteriza por arbustos perennes de raíces profundas que tienen hojas relativamente ásperas y correosas. Varios tipos de chaparral se dan en la cuenca y generalmente dependen de la elevación, pendiente y aspecto. De la distribución total del chaparral en la cuenca, el chaparral de chamizo es el más común en la parte occidental extrema. Éste domina y ocurre principalmente en las laderas planas o expuestas hacia el sur en las partes más secas y bajas de la zona de chaparral. La mezcla de chaparral es más común en laderas relativamente húmedas expuestas

Vegetation Major Communities

Vegetación Comunidades Principales



Oak Woodland, Pinyon-Juniper Woodland, and Jeffrey Pine Forest. While these woodland and forest types account for but a small fraction of the watershed, they serve as valuable habitat for a variety of wildlife types. **Oak woodland** in lower-elevation portions of the watershed occurs most commonly on moist north-facing slopes and valley bottoms and is dominated by the coastal live oak. Canyon live oak is a more common dominant at higher elevations in the eastern portion of the watershed. **Pinyon-Juniper woodland** is dominated by the one-leaf pinyon, the four-leaf pinyon, and the California juniper, and occurs at higher elevations in the watershed's southeastern extreme section. **Jeffrey pine forest** is dominated by the Jeffrey pine and occurs at higher, wetter elevations in the northeastern and southeastern portions of the watershed.

Riparian Vegetation. The watershed also contains several riparian vegetation types that serve as valuable habitat to a rich diversity of animals, including threatened bird species such as the least Bell's vireo, willow flycatcher, and yellow-breasted chat. In addition to avian species, various reptiles, mammals, freshwater fish, and amphibians occupy stream and riparian habitat. Most riparian vegetation in the vicinity of Tijuana has been removed or seriously disturbed as a result of spreading urbanization. However, notable examples still exist along the Tijuana River's various tributaries. **Riparian woodland** is usually dominated by low-density stands of western sycamore, although other trees such as coastal live oak and cottonwood may also be intermixed. Associated subordinate species may include poison oak, currant, gooseberry, and blue elderberry. While less common, **oak riparian forest** is most often found in the upper reaches of tributary streams in the watershed. This forest is characterized by dense stands of coastal live oak that occupy a stream channel's outer perimeter and winter-deciduous species of willow and cottonwood situated closer to the stream channel. **Riparian forest** is the least-common riparian type in the watershed and is dominated by tall, dense winter-deciduous trees such as willows and cottonwoods. Subordinate species may include poison oak, desert grape, mugwort, and stinging nettle. Lower-statured willows and/or mule fat dominate riparian scrub, which is the most common type of riparian vegetation in the watershed. **Riparian scrub** vegetation is especially common along the Río Las Palmas where a substantial amount of it is disturbed and has been invaded by non-native shrubs such as tamarisk and giant reed.

hacia el norte. Es una mezcla de arbustos como el encino, baya roja, chamizo y varias especies de la lila californiana y la manzanita. El chaparral de tallo rojo comúnmente forma grandes montes contiguos en las partes del este de mayor elevación del área de chaparral de la cuenca.

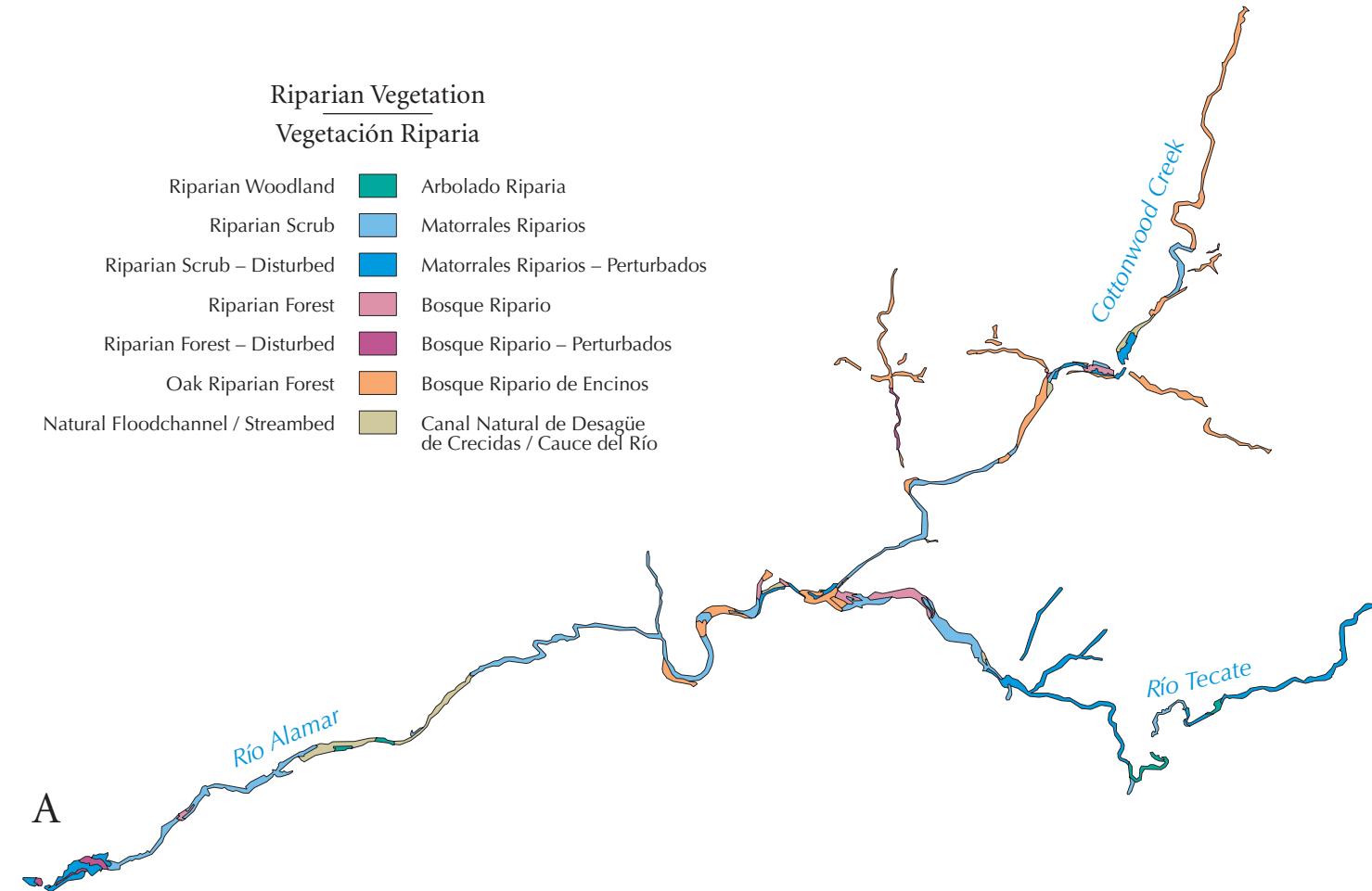
Bosque de Encinos, Bosque de Enebros (Juníperos) Piñoneros y Bosque de Pino Jeffrey.

Mientras que estos tipos de arboledas y bosques representan tan sólo una pequeña fracción de la cuenca, son un hábitat valioso para varios tipos de vida silvestre. Los **bosques de encinos** en las partes de menor elevación en la cuenca se dan más comúnmente en laderas húmedas expuestas hacia el norte, en los fondos de los valles y son dominados por el encino costero. El encino que se da en los cañones es una especie dominante en áreas de mayor altitud en la parte este de la cuenca. Los **bosques de enebros piñoneros** son dominados por el piñonero de una sola hoja, el piñonero de cuatro hojas y el junípero californiano, y se dan a mayor altitud en la sección sureste extrema de la cuenca. El **bosque de pino Jeffrey** es dominado por el pino Jeffrey y se da a elevaciones mayores y más húmedas en los extremos noreste y sureste de la cuenca.

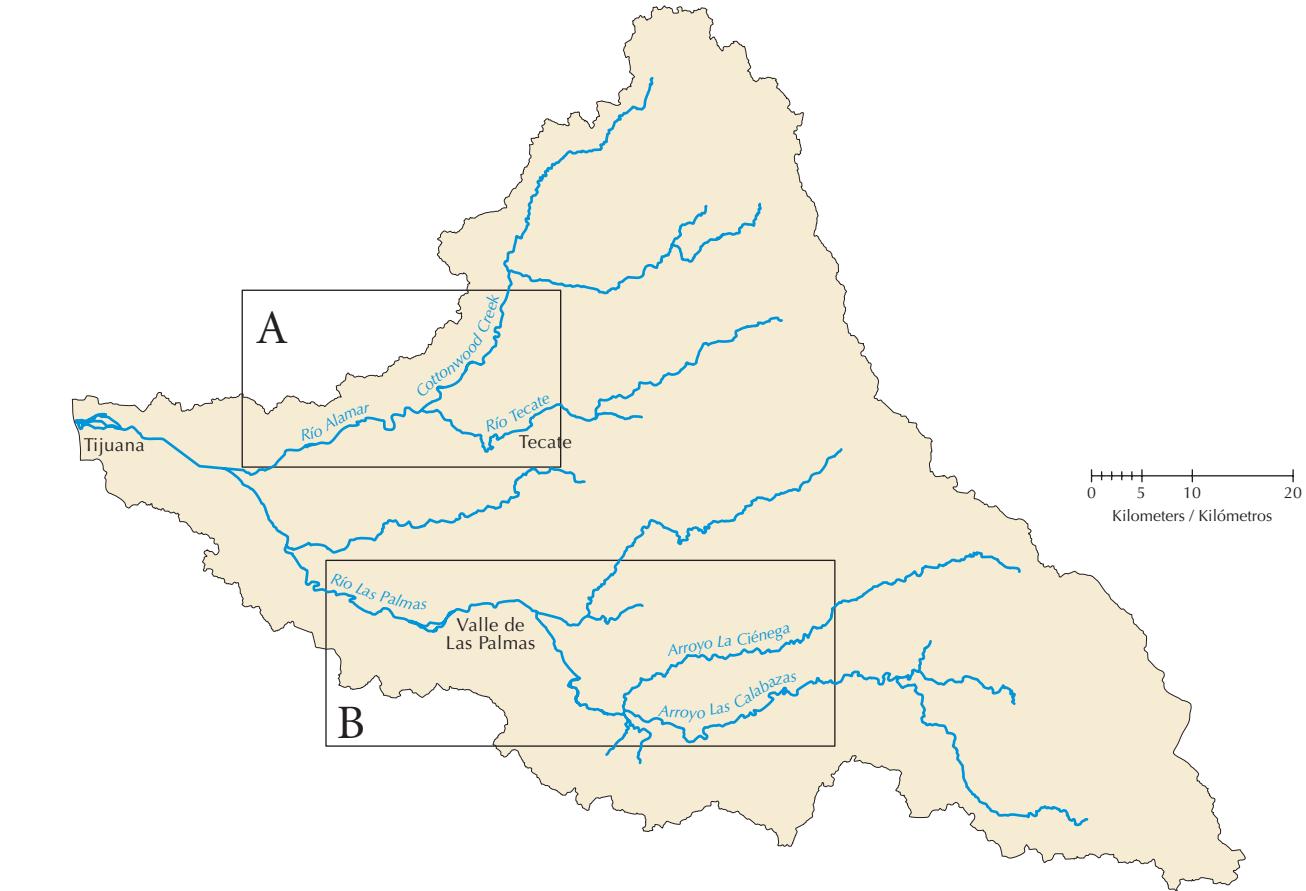
Vegetación Riparia. La cuenca también contiene varios tipos de vegetación riparia que conforman un hábitat valioso para una rica diversidad de fauna silvestre, incluyendo especies de aves en peligro de extinción como el víreo de Bell, el mosquero saucero y el buscabreña. Aparte de las especies de aves, varios reptiles, mamíferos, peces de agua dulce y anfibios ocupan hábitats riparios y de arroyos. La mayor parte de la vegetación riparia en las inmediaciones de Tijuana ha sido eliminada o gravemente perturbada como resultado de la expansión urbana. No obstante, aún existen zonas notables a lo largo de los varios tributarios del Río Tijuana. El **bosque ripario** es generalmente dominado por montes de baja densidad de sicómoros americanos, aunque otros árboles, como el encino costero y el álamo, también pueden estar entremezclados. Especies subordinadas asociadas pueden incluir el roble venenoso, la grosella, la grosella espinosa y la baya azul de saúco. Aunque menos común, el **bosque ripario de encinos** se encuentra con mayor frecuencia en las partes superiores de los arroyos tributarios en la cuenca. Este bosque se caracteriza por densos montes de encinos costeros que ocupan el perímetro exterior del canal de corrientes y otras especies invernales de hojas caducas de álamos y sauces se encuentran más cerca del cauce de los arroyos. El **bosque ripario** es el menos común en la cuenca. Éste se caracteriza por árboles invernales altos y densos de hojas caducas, como los sauces y álamos. Especies subordinadas pueden incluir el roble venenoso, la uva del desierto, la artemisa y la ortiga. Los sauces de menor estatura o la chilca dominan los **matorrales riparios**, los cuales son comunes en la cuenca. Esta vegetación es especialmente común a lo largo del Río Las Palmas, donde una cantidad sustancial ha sido perturbada e invadida por arbustos que no son endémicos, como el tamarisco y el carrizo.

Riparian Vegetation Vegetación Riparia

Riparian Woodland	Arbolado Riparia
Riparian Scrub	Matorrales Riparios
Riparian Scrub – Disturbed	Matorrales Riparios – Perturbados
Riparian Forest	Bosque Ripario
Riparian Forest – Disturbed	Bosque Ripario – Perturbados
Oak Riparian Forest	Bosque Ripario de Encinos
Natural Floodchannel / Streambed	Canal Natural de Desagüe de Crecidas / Cauce del Río



A



0 5 10 20
Kilometers / Kilómetros

B

Vegetation Riparian Corridors

Vegetación Corredores Riparios



Human and Environmental Characteristics Características Humanas y Ambientales

The maps of this section display several human dimensions, as well as environmental impacts of human activities for the entire watershed and the City of Tijuana. Human dimensions are represented by maps and text concerning population, indigenous population, land use, transportation, historical urban growth, and projected land use. Human impacts are shown by illustrations and descriptions of vegetation degradation, water and air pollution, and flooding. Notably absent from the atlas are economic topics—such as manufacturing and agriculture—and cultural features—such as language, religion, and ethnicity. This is due to incomplete data for most sections of the basin.

The first map in this section shows the distribution of the watershed's approximately 1.4 million inhabitants. The spatial arrangement of population is the primary factor that influences the intensity and location of environmental degradation in the basin. To assist the atlas reader in visualizing the distribution of population, a combination of uniform dots and proportional circles is used. Indigenous persons account for a small, but significant, percentage of the watershed's rural population. They are the Kumeyaay (Kumiai) peoples and can be found on both sides of the international border. Their distribution and characteristics are described in the second map and text of this section. The next map shows the distribution of different types of land use. Land use is a key expression of the relationship between people and the land that they occupy and use for residential, economic, recreational, and other pursuits. As seen in the following map, transportation of peoples and goods in the watershed is accomplished largely through a network of roads that varies greatly in terms of quality, density, and connectivity. These characteristics of the road network relate directly to variations in the intensity of spatial interaction in the watershed. Also of importance to the transportation structure of the watershed is the trolley that links the watershed at San Ysidro to the greater San Diego urban area to the north. A railroad link connects San Diego to the Imperial Valley to the east and traverses the watershed from Tijuana to Tecate.

The region's rapidly growing population and economy have significantly impacted human health and the environment. The map on vegetation change shows the loss and fragmentation of sensitive habitat during the 1953–1994 period. Following this map are two sets of illustrations and text that focus on air and water quality issues in Tijuana. The lack of data has limited the discussion of these two topics largely to the City of Tijuana section of the watershed. The final plate in this section portrays areas prone to flooding in Tijuana, a serious problem that is exacerbated by increased impermeability of the surface due to urban expansion.

The illustrations of the next section focus on land use/land cover for the City of Tijuana. The first illustration shows how population density varies throughout the city. The five maps that follow emphasize historical urban growth, the urban footprints of Tijuana in 1994 and

2000 as seen on satellite images, land use characteristics in 2000, and land use projected 20 to 25 years into the future.

Los mapas en esta sección muestran varias dimensiones humanas, como también impactos ambientales de actividades humanas, en toda la cuenca y la Ciudad de Tijuana. Las dimensiones humanas se observan en los mapas y texto con respecto a la población, la población indígena, los usos del suelo, el transporte, el crecimiento urbano histórico y los usos del suelo proyectados. Los impactos humanos se presentan en las ilustraciones y descripciones de la degradación vegetal, la contaminación del agua y del aire y las inundaciones. Es notoria la ausencia en el atlas de los temas económicos—como la manufactura y agricultura—y de las características culturales—como el idioma, la religión y la etnicidad. Esto se debe a que los datos son incompletos para la mayoría de las secciones de la cuenca.

El primer mapa de esta sección muestra la distribución de los aproximadamente 1.4 millones de habitantes en la cuenca. El orden espacial de la población es el factor principal que influye en la intensidad y la ubicación de la degradación ambiental en la cuenca. Para asistir al lector del atlas a visualizar la distribución poblacional, se utiliza una combinación de puntos uniformes y círculos proporcionales. Las personas indígenas representan un pequeño pero importante porcentaje de la población rural de la cuenca. Pertenecen al pueblo kumiai y se encuentran en ambos lados de la frontera internacional. Su distribución y características se describen en el segundo mapa y texto de esta sección. El mapa siguiente muestra la distribución de los diferentes tipos de usos del suelo. El uso del suelo es una expresión clave de la relación entre la población y el suelo que es ocupado para fines residenciales, económicos, recreativos y otros. Como se ve en el siguiente mapa, el transporte de personas y bienes en la cuenca se realiza en gran parte por una red de caminos que varía mucho en términos de calidad, densidad y conectividad. Estas características de la red de caminos se relacionan directamente con las variaciones en la intensidad de la interacción espacial en la cuenca. También de importancia para la estructura de transporte de la cuenca es el tren ligero (*trolley*) que enlaza a la cuenca en San Ysidro con la gran zona urbana de San Diego, hacia el norte. Una vía de ferrocarril conecta a San Diego con el Valle Imperial hacia el este y atraviesa la cuenca desde Tijuana hasta Tecate.

La población y economía, de acelerado crecimiento en la región, han tenido impactos significativos en la salud humana y en el medio ambiente. El mapa sobre cambios en la vegetación muestra la pérdida y fragmentación de los hábitats susceptibles durante el periodo de 1953–1994. Después de este mapa se encuentran dos series de ilustraciones y texto que se enfocan en temas de calidad del aire y del agua en Tijuana. La falta de datos ha limitado la discusión sobre estos dos temas en gran parte a la sección de la Ciudad de Tijuana en la cuenca. La última ilustración de esta sección representa las zonas en Tijuana propensas a inundaciones, un grave problema que se exacerbaba por la mayor impermeabilidad de la superficie debido a la expansión urbana.

Las ilustraciones de la siguiente sección se enfocan en el uso y en la

cobertura del suelo en la Ciudad de Tijuana. La primera de éstas muestra cómo varía la densidad poblacional en la ciudad. Los cinco mapas que siguen enfatizan el crecimiento urbano histórico; las manchas urbanas de Tijuana en 1994 y 2000 vistas en imágenes satelitales; las características del uso del suelo en 2000; y las proyecciones del uso de suelos dentro de 20 a 25 años.



Population

Distribution 1990 / 1995

Although the number of inhabitants in the watershed is not precisely known, reasonably accurate estimates can be obtained through a variety of means. One such method is to combine official census counts for the population clusters with calculations of the dispersed rural population from house counts on aerial photographs. This method results in a figure of approximately 1,400,000 persons, a number that is expected to double in the next 20 years as a result of substantial in-migration and natural growth.

The watershed's population is highly concentrated in the western section in the cities of Tijuana and Tecate, the Mexican communities of San Luis and Terrazas del Valle as well as portions of the San Diego communities of Imperial Beach, San Ysidro, and Otay Mesa. Smaller population clusters in Mexico are found further to the east in the communities of Nueva Colonia Hindú, Valle de Las Palmas, Carmen Serdán, Vallecitos, Santa Verónica, Nejí, and El Hongo. In San Diego County, small population concentrations are found in Potrero, Campo, and Pine Valley. In general, these smaller communities are located in response to the availability of surface and groundwater sources that are needed to sustain residential and agricultural uses. A prime example is the Valle de Las Palmas, an important area of wine grape production and irrigated agriculture. Aside from these small clusters, the watershed's population is widely dispersed with large areas absent of habitations.

Population growth is greatest in the outskirts of Tijuana and Tecate where new homes are spreading rapidly over the rural landscape. Tijuana, Tecate, and Rosarito, the latter outside of the watershed, are expanding toward each other and will eventually form a contiguous metropolis. Tijuana is also expanding to the southeast and is likely to connect with the community of Valle de Las Palmas in the next decade.

Richard D. Wright

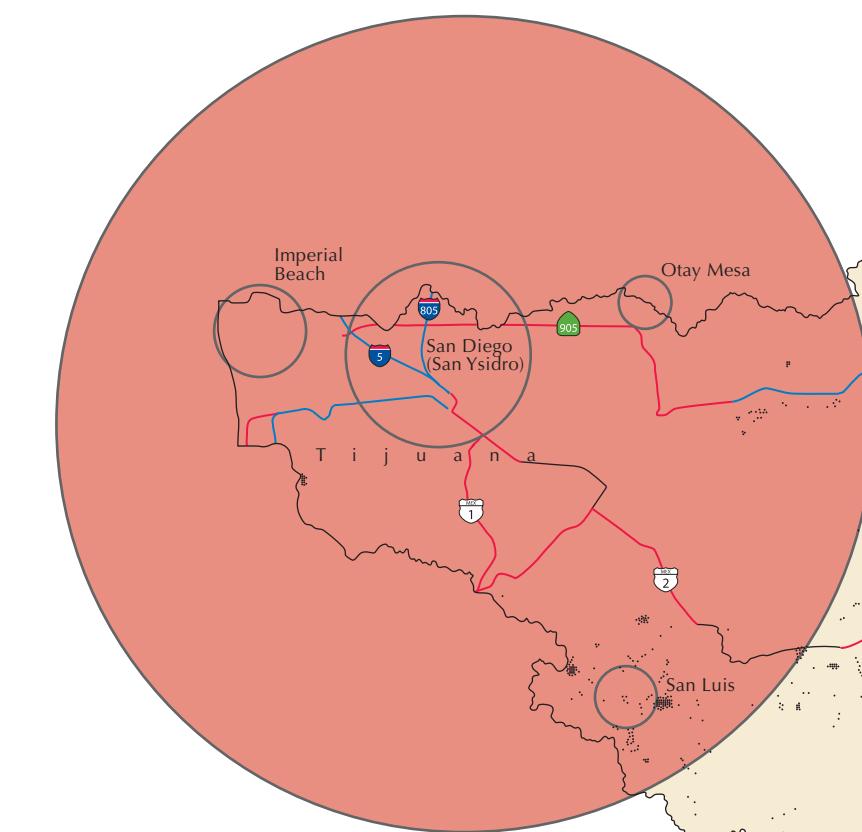
Población

Distribución 1990 / 1995

Aunque no se conoce con exactitud el número de habitantes en la cuenca, se pueden obtener estimaciones bastante precisas por varios medios. Uno de estos métodos es mediante la combinación de las cifras oficiales del censo con respecto a los grupos poblacionales con las estimaciones de la población rural dispersa en las viviendas contadas a partir de su identificación en fotografías aéreas. Este método da un resultado de aproximadamente 1,400,000 personas, cifra que se anticipa se duplicará en los siguientes 20 años como resultado de una migración interna sustancial y el crecimiento natural.

La población de la cuenca se encuentra sumamente concentrada en la sección occidental de las ciudades de Tijuana y Tecate, en las comunidades mexicanas de San Luis y Terrazas del Valle, como también en partes de las comunidades de San Diego que incluyen a Imperial Beach, San Ysidro y Otay Mesa. En México, grupos poblacionales más pequeños se encuentran hacia el este en las comunidades Nueva Colonia Hindú, Valle de Las Palmas, Carmen Serdán, Vallecitos, Santa Verónica, Nejí y El Hongo. En el Condado de San Diego, grupos poblacionales más pequeños se encuentran en Potrero, Campo y Pine Valley. Por lo general, estas comunidades más pequeñas se ubican en respuesta a la disponibilidad de recursos de agua, tanto superficial como subterránea, que se necesitan para sostener los usos residenciales y agrícolas. Un buen ejemplo es el Valle de Las Palmas, un área importante de agricultura de riego y de cultivo de uvas para la producción de vino. Aparte de estos grupos pequeños, la población de la cuenca está ampliamente dispersa con grandes áreas sin habitantes.

El crecimiento poblacional es mayor en las afueras de Tijuana y Tecate, donde hay un acelerado desarrollo de nuevas viviendas sobre el paisaje rural. Tijuana, Tecate y Rosarito, éste último fuera de la cuenca, se están extendiendo el uno hacia el otro y formarán con el tiempo una metrópoli contigua. Tijuana también se está extendiendo hacia el sureste y es probable que en la próxima década se conecte con la comunidad del Valle de Las Palmas.

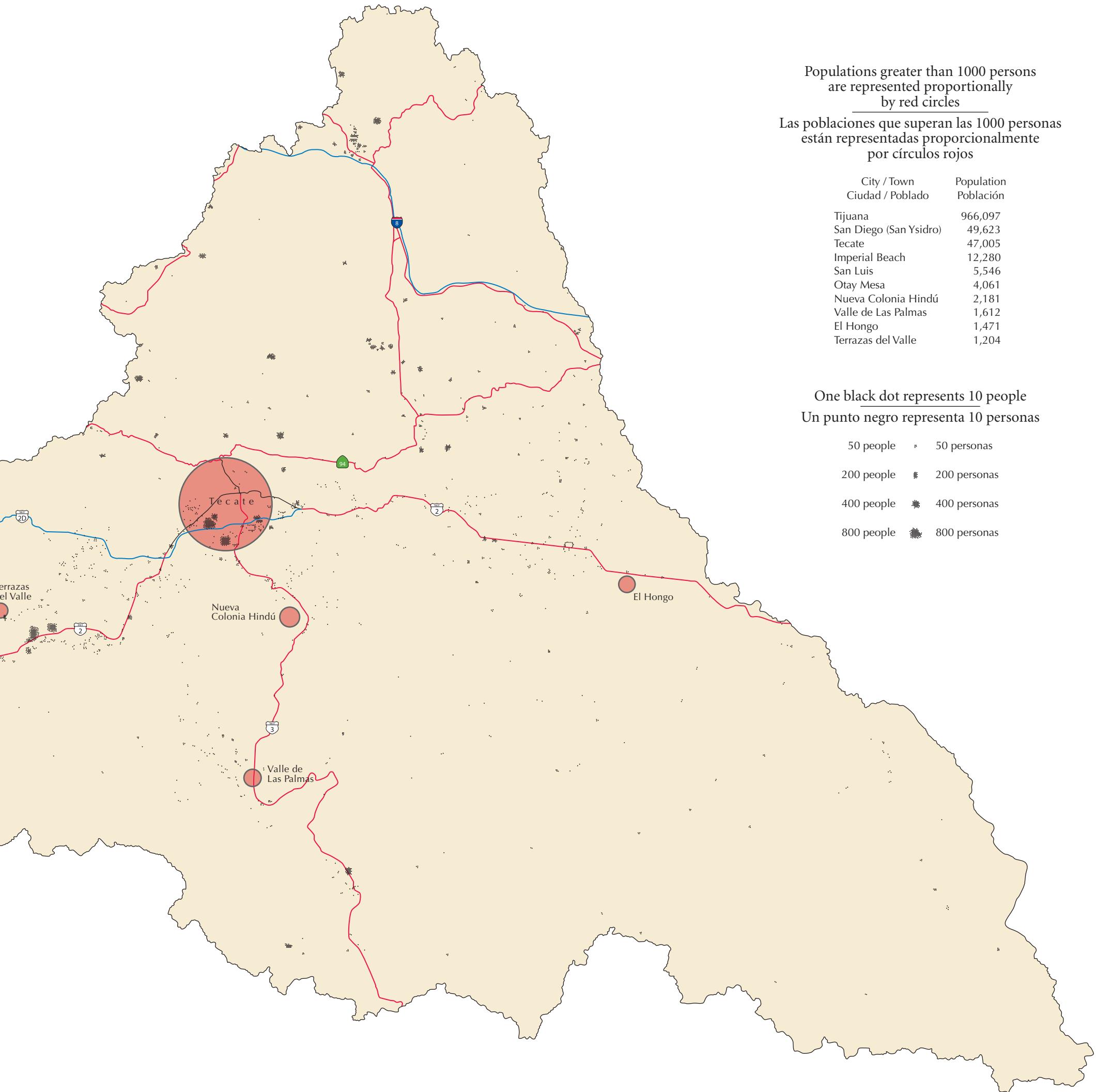


Population

Distribution 1990 / 1995

Población

Distribución 1990 / 1995



Native peoples have inhabited the Tijuana River Watershed for at least ten to twelve thousand years. Archaeologists believe that the watershed's earliest inhabitants were Paleoindian peoples who arrived toward the end of the Pleistocene, hunting the now-extinct megafauna that roamed the area during the moister period at the end of the last ice age. As the climate became more arid and the Pleistocene mammals retreated to the north or became extinct, native people adapted to the changes in their environment by more intensive hunting and gathering throughout the watershed as well as greater utilization of estuarine and marine resources of the lower watershed. This is reflected in the types of stone tools found in sites of the Archaic period from around 8,000 to 1,300 years before the present. Particularly notable is the abundance of grinding stones, which indicates that the milling of plant materials was increasingly important in native people's adaptive strategies.

Beginning around 1,300 years ago, changes in technology suggest that either demographic changes or the diffusion of new cultural complexes impacted native peoples of the region. Small projectile points and ceramics found at local sites suggest that the bow and arrow and pottery had been introduced from the eastern deserts. More intensive interaction with the watershed's various ecosystems probably led to increases in population. During this period, the patterns of material culture began to resemble those of the Native American populations—the ancestors of the Kumeyaay—who were living throughout the watershed.

The Kumeyaay (Kumiai) people belong to the larger Yuman family of cultures and languages that includes other groups of California, Baja California, and Arizona. Kumeyaay territory originally extended from near what is now Santo Tomás, Baja California, northward to Escondido in California and eastward over the mountains toward the Colorado River. The Tijuana River Watershed forms the heartland of the southern part of this territory, where Kumiai people often refer to themselves as Tipai, meaning "Indian" or "the people." Both the archaeological and the ethnographic records describe Kumeyaay as highly mobile bands of hunters and gatherers, exploiting a wide variety of resources in annual cycles of movement from the coast in the winter to the mountains in the summer.

For Kumeyaay people living in the watershed, their location formed a strategic interface with four directions. To the north, closely related bands, or *Shimuls*, with whom they shared a common language, linked them with the rest of native California. To the east, related desert peoples, such as the Cocopah, were important trade partners who often joined the Kumiai for the pine nut harvest gatherings. To the south were Kumiai, Paipai, Koatl, Kiliwa, and other peninsular groups with whom they also had frequent contact. To the west, where the watershed flows into the Pacific Ocean with its abundant marine resources and milder winter temperatures, Kumiai also lived.

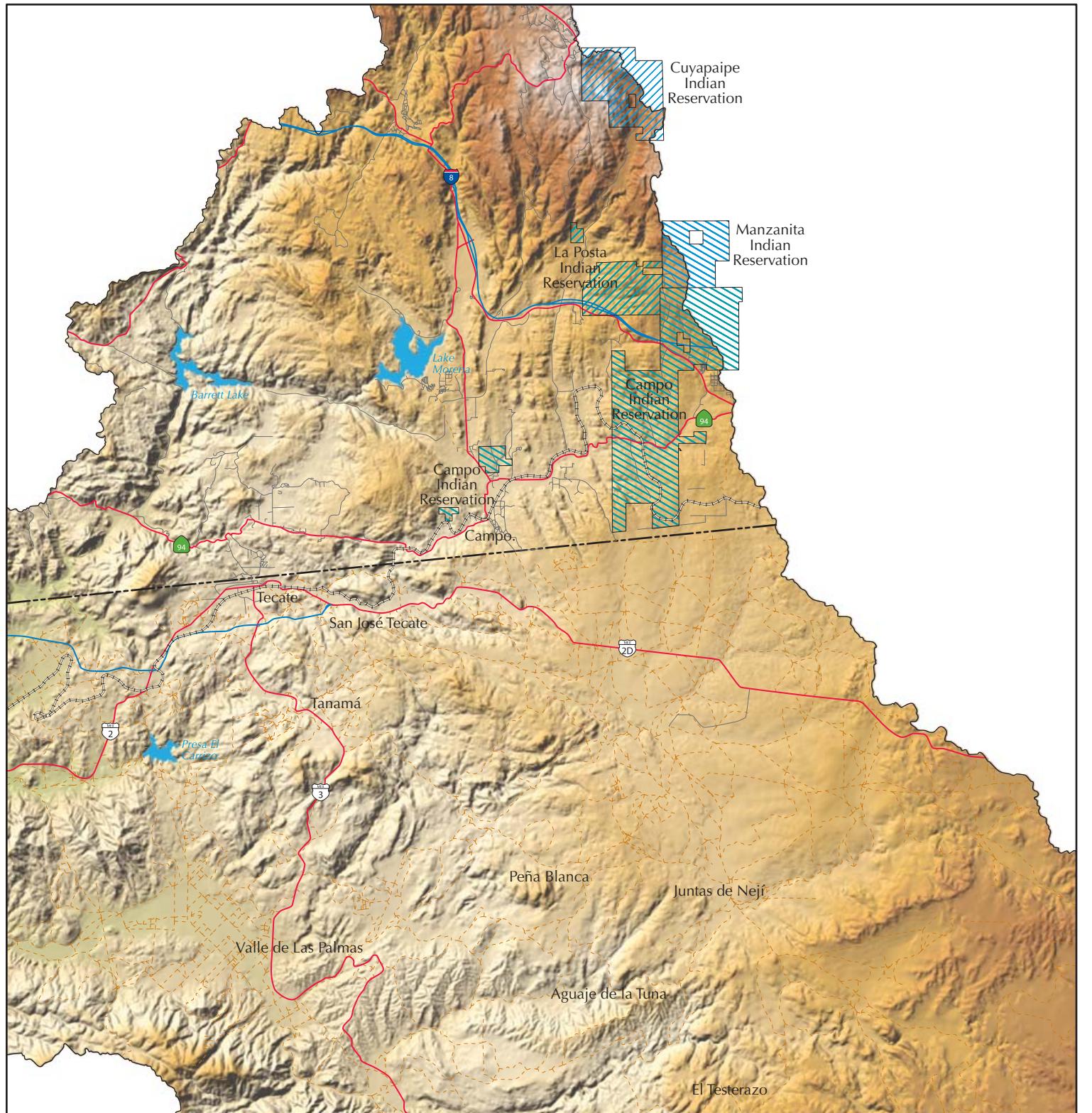
Today, the descendants of the original Kumeyaay inhabitants make their homes in the watershed. On the U.S. side, the Campo Indian

Los grupos indígenas han habitado la Cuenca del Río Tijuana por lo menos de 10 a 12 mil años. Los arqueólogos creen que los primeros habitantes de la cuenca fueron los paleoindios, quienes llegaron hacia fines del periodo pleistoceno en caza de la megafauna, ahora extinta, que vagaba por el área durante el periodo más húmedo a fines de la última edad de hielo. Cuando el clima se hizo más árido, y los mamíferos pleistocenos retrocedieron hacia el norte o se extinguieron, los indígenas se adaptaron a los cambios en su medio ambiente por medio de la cacería y recolecta intensa por toda la cuenca, como también mayor utilización de las fuentes del estuario y marinas de la parte baja de la cuenca. Esto se refleja en los tipos de herramientas de piedra que se encontraron en los sitios del periodo arcaico de hace unos 8,000 a 1,300 años antes del presente. La abundancia de piedras para moler indica que triturar los materiales de plantas era cada vez más importante en las estrategias de adaptación de los pueblos indígenas.

Hace aproximadamente 1,300 años, cambios en la tecnología sugieren que los cambios demográficos o la difusión de nuevos complejos culturales impactaron a los pueblos indígenas de la región. Pequeños proyectiles de punta y cerámica encontrados en los sitios locales sugieren que el arco y flecha y la cerámica habían sido introducidos de los desiertos del este. Una interacción más intensa con los diversos ecosistemas de la cuenca probablemente condujo a aumentos en la población. Durante este periodo, los patrones de una cultura material empezaron a parecerse a los de las poblaciones de nativos americanos—los ancestros de los kumiai—quienes vivían en la cuenca.

El pueblo kumiai pertenece a la familia más grande de culturas y lenguajes yumano, la cual incluye otros grupos de California, Baja California y Arizona. El territorio kumiai originalmente se extendía desde cerca de lo que hoy día es Santo Tomás, Baja California, hacia el norte a Escondido en California y hacia el este, por las montañas hacia el Río Colorado. La Cuenca del Río Tijuana forma la zona central de la parte sur de este territorio, donde el pueblo kumiai con frecuencia se refiere a sí mismo como tipai, lo que significa "indio" o "el pueblo". Tanto los documentos arqueológicos como los etnográficos describen a los kumiai como grupos sumamente móviles de cazadores y recolectores, que explotaban una gran variedad de recursos en ciclos anuales de movimiento desde la costa en el invierno hasta las montañas en el verano.

Para el pueblo kumiai que vivía en la cuenca, su ubicación formaba una interfase estratégica con cuatro direcciones. Hacia el norte, grupos con una relación estrecha, o *shimuls*, con quienes compartían un lenguaje común, los vinculaba con el resto de los grupos indígenas de California. Hacia el este, los pueblos relacionados del desierto, como los cucapá, eran socios importantes para el comercio quienes con frecuencia se unían a los kumiai en la recolecta de piñones. Hacia el sur se encontraban los kumiai, paipai, koatl, kiliwa y otros grupos peninsulares con quienes también tenían contacto frecuente.



Indigenous Population Población Indígena



Transverse Mercator Projection
Proyección Transversa de Mercator

0 5 10 20
Kilometers / Kilómetros

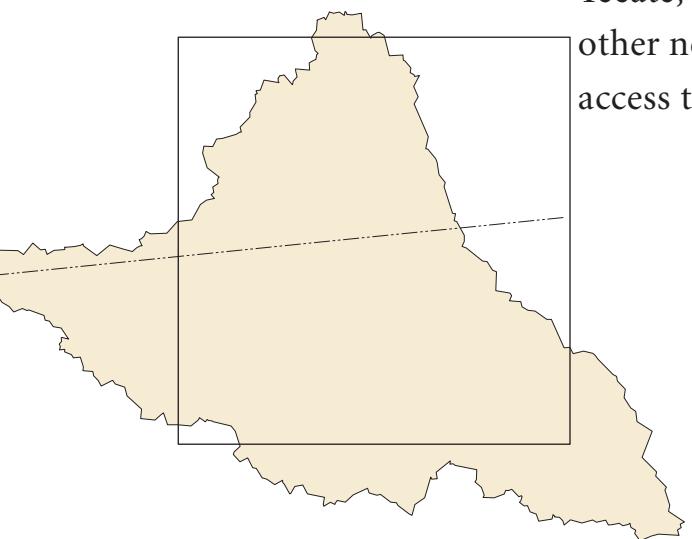
Reservation, located just north of the international border in southeastern San Diego, encompasses approximately 25 square miles (65 km^2) and is made up of two disconnected sections with some 350 residents (Comer 2004). The much smaller La Posta, Manzanita, and Cuyapaipe reservations also have lands in this part of the watershed.

In Baja California, the Kumiai community of Juntas de Nejí is the northernmost of the indigenous communities of the state, located within the Municipality of Tecate. Nejí is divided geographically into two separate areas that have a combined total of 28,640 acres (11,590 hectares). The clans of Nejí have historically shared close familial and linguistic ties with the Kumeyaay groups of southern San Diego County such as Campo and Jamul. Bordering on the western area of Nejí is the traditional Kumiai settlement of Peña Blanca. It and several other traditional indigenous settlements in the watershed—San José Tecate, Tanamá, and Aguaje de la Tuna—are not yet recognized by the Mexican federal government and struggle to regain or retain their land against the encroachment of ejidos and other powerful interests. Many of the members of these communities live only part time in their communities, residing most of the time in Tecate, Valle de Las Palmas, El Testerazo, or other neighboring towns where they find easier access to employment, schools, and services.

Los kumiai también vivían hacia el oeste, donde la cuenca fluye hacia el Océano Pacífico con sus recursos marinos abundantes y temperaturas invernales más templadas.

Hoy en día, los descendientes de los habitantes kumiai originales establecen sus hogares en la cuenca. En el lado estadounidense, la reserva de indios de Campo, ubicada justo al norte de la frontera internacional en el sureste de San Diego, abarca aproximadamente 65 kilómetros cuadrados y consta de dos secciones desconectadas con unos 350 residentes (Comer 2004). Las reservas mucho más pequeñas de La Posta, Manzanita y Cuyapaipe también tienen tierras en esta parte de la cuenca.

En Baja California, la comunidad kumiai de Juntas de Nejí es la comunidad indígena del estado ubicada más al norte, dentro del Municipio de Tecate. Nejí está dividida geográficamente en dos áreas separadas que tienen un total combinado de 11,590 hectáreas. Los clanes de Nejí han compartido históricamente estrechos lazos familiares y lingüísticos con los grupos kumiai del sur de San Diego, como Campo y Jamul. En colindancia con el área oeste de Nejí se encuentra el poblado tradicional kumiai de Peña Blanca. Este poblado y varios otros pueblos indígenas tradicionales en la cuenca—San José Tecate, Tanamá y Aguaje de la Tuna—todavía no son reconocidos por el gobierno federal mexicano y luchan por recuperar o retener sus tierras contra la invasión de ejidos y otros intereses poderosos. Varios de los miembros de estas comunidades viven solamente parte del tiempo en sus comunidades y residen la mayor parte del tiempo en Tecate, Valle de Las Palmas, El Testerazo u otros pueblos vecinos donde encuentran acceso más fácil a empleos, escuelas y servicios.



Land Use

1995

The Tijuana River Watershed is a region of contrasting land uses. Although the urban centers of Tijuana and Tecate dominate the basin, urban land uses comprise roughly 10% of the basin's land area. The majority of the watershed is undeveloped (84%). Much of the land classified as undeveloped is actually used for low intensity grazing of cattle and goats. Areas of more intensive agriculture are associated with the interior valleys where reliable sources of water are available to irrigate crops. The largest of these areas is the Valle de Las Palmas to the southeast of Tijuana, which is becoming a promising wine grape producing region. Other significant areas are Carmen Serdán and Vallecitos, southeast of the Valle de Las Palmas, and Santa Verónica, Nejí, and El Hongo in the eastern part of the Mexican section of the watershed.

Thirteen classes of general land use and land cover for the Mexican portion of the watershed were interpreted from 1:12,500-scale aerial photographs for 1994 and checked in the field. These classes are consistent with those developed and used by the San Diego Association of Governments (SANDAG) for its land use map of the San Diego region. The land use polygons for the Mexican portion were put into digital form using an "on-screen" digitizing method on the background of merged SPOT panchromatic (10-meter horizontal resolution) and SPOT multispectral (20-meter horizontal resolution) images that had been terrain corrected and geo-referenced. These digital data were then merged with the general land use of the United States portion of the watershed created by SANDAG from 1995 SPOT satellite imagery. The result is a seamless land use coverage of the entire transborder watershed.

19

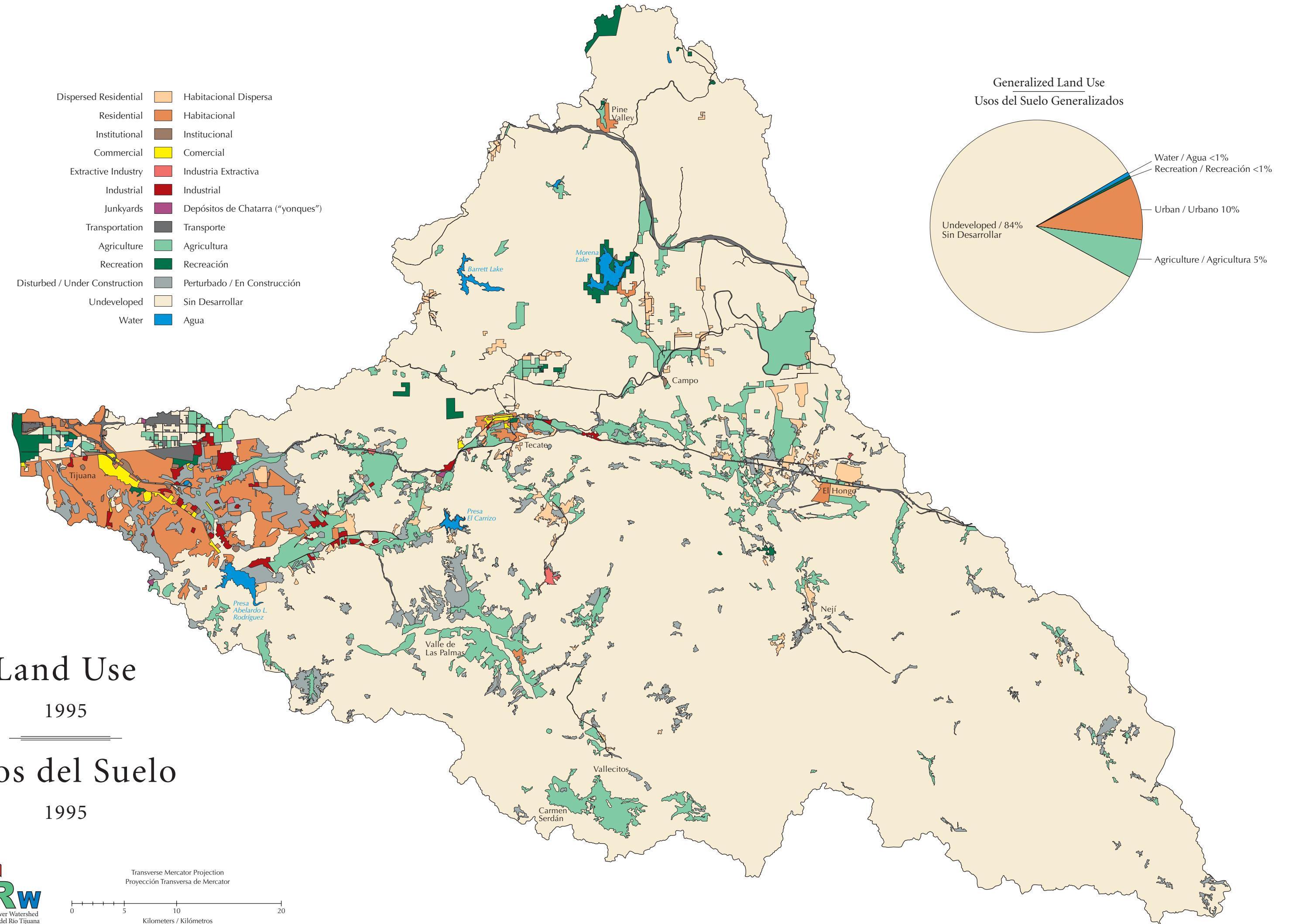
Richard D. Wright

Usos del Suelo

1995

La Cuenca del Río Tijuana es una región de usos contrastantes con respecto al suelo. Aunque los centros urbanos de Tijuana y Tecate predominan en la cuenca, los usos del suelo urbano conforman aproximadamente el 10% del área de suelos de la cuenca. La mayor parte de la cuenca está sin desarrollar (84%). De los suelos que se clasifican como sin desarrollar, gran parte se utiliza para pastoreo de baja intensidad de ganado y cabras. Las áreas de agricultura más intensa están asociadas con los valles interiores donde se cuenta con fuentes confiables de agua para el riego de los cultivos. La más grande de estas áreas es el Valle de Las Palmas al sureste de Tijuana, la cual se está convirtiendo en una región prometedora en el cultivo de uvas para la producción de vino. Otras áreas importantes son Carmen Serdán y Vallecitos, al sureste del Valle de Las Palmas, y Santa Verónica, Nejí y El Hongo, en la parte este de la sección mexicana de la cuenca.

De las fotografías aéreas a escala 1:12,500 para 1994, se interpretaron 13 clases de usos generales del suelo y de cobertura del suelo para la parte mexicana de la cuenca y se verificaron en campo. Estas clases son consistentes con aquellas desarrolladas y utilizadas por la Asociación de Gobiernos de San Diego (SANDAG, por sus siglas en inglés) para su mapa de usos del suelo de la región de San Diego. Los polígonos del uso del suelo para la parte mexicana fueron digitalizados mediante el método de digitalización "en pantalla" sobre un fondo fusionado de imágenes pancromáticas del satélite SPOT (resolución horizontal de 10 metros) y multiespectrales SPOT (resolución horizontal de 20 metros) que habían sido corregidas con respecto a los terrenos y georeferenciadas. Estos datos digitales fueron entonces fusionados con el uso general de suelos de la parte estadounidense de la cuenca creados por SANDAG de las imágenes satelitales SPOT de 1995. El resultado es una cobertura continua de usos de suelos, sin junturas, de toda la cuenca transfronteriza.



Transportation

1996

Population concentration in the Tijuana-San Diego urban zone in the western part of the Tijuana River Watershed requires more roads to serve the area. In Mexico, Highway 1D extends from south to north and connects Rosarito and Tijuana with the San Ysidro international border crossing. At this point, it merges with Interstate highways 5 and 805, which traverse the County of San Diego from south to north.

The City of Tijuana has an important commercial and services area—Zona Río—that is accessible through a crowded system of streets and roads. The main arteries extend west of the city to the Playas de Tijuana Delegation, and east toward the Otay Mesa area, where they connect on the San Diego side with Highway 905. Other Tijuana areas are linked by smaller arteries.

Outside the urban area of Tijuana, there are small, dispersed settlements. Many of these are connected by major highways. Highway 2 connects the coastal area with the City of Tecate and El Hongo in the eastern part of the watershed; Highway 3 runs south from Tecate through the Valle de Las Palmas and then to Ensenada; and Highway 2D is a toll road between Tijuana and Tecate that after 1996 was extended eastward to El Hongo and Mexicali. Due to the dispersion of settlements throughout the watershed, there are many unpaved dirt roads. In the U.S. portion of the upper watershed, the principal east-west links are Interstate Highway 8 and Highway 94. The latter dips south to connect with Mexico Highway 2 at Tecate. Additional paved and unpaved roads connect the small settlements and dispersed housing and tribal areas in the region.

The City of Tijuana's Abelardo L. Rodríguez International Airport is one of Mexico's busiest passenger airports. In 1999, it served slightly more than 3.5 million passengers, or 32.9% of total airline passengers in the northern border states of Mexico. Rodríguez Airport is also important because it forms part of the air transportation system of the San Diego region. The main airport of this system is the San Diego International Airport Lindbergh Field. In 1999, it handled 15 million passengers and ranked 28th within the group of U.S. commercial airports.

A light rail passenger transportation system, the San Diego trolley, connects with the border at San Ysidro and links Tijuana and the border to central San Diego and the East County to Santee. It serves as a critical transportation link between Tijuana and the San Diego region.

The San Diego-Arizona Eastern Railway is used for freight transport. It connects the border cities of San Diego, Tijuana, and Tecate with the Imperial Valley. There is a proposal in Baja California to build a new rail line to connect the Port of Ensenada with the existing railroad somewhere near Tecate. In addition, a short section of the railroad between Campo and Tecate is used for tourism.

Marlene Solís

Transporte

1996

La concentración de población en la zona urbana de Tijuana-San Diego en la parte oeste de la Cuenca del Río Tijuana, requiere de más vialidades en esta área. En México, la carretera 1D corre de sur a norte y conecta a Rosarito y Tijuana con la garita internacional de San Ysidro. En la frontera se conecta con las autopistas interestatales 5 y 805, que atraviesan el condado de San Diego de sur a norte.

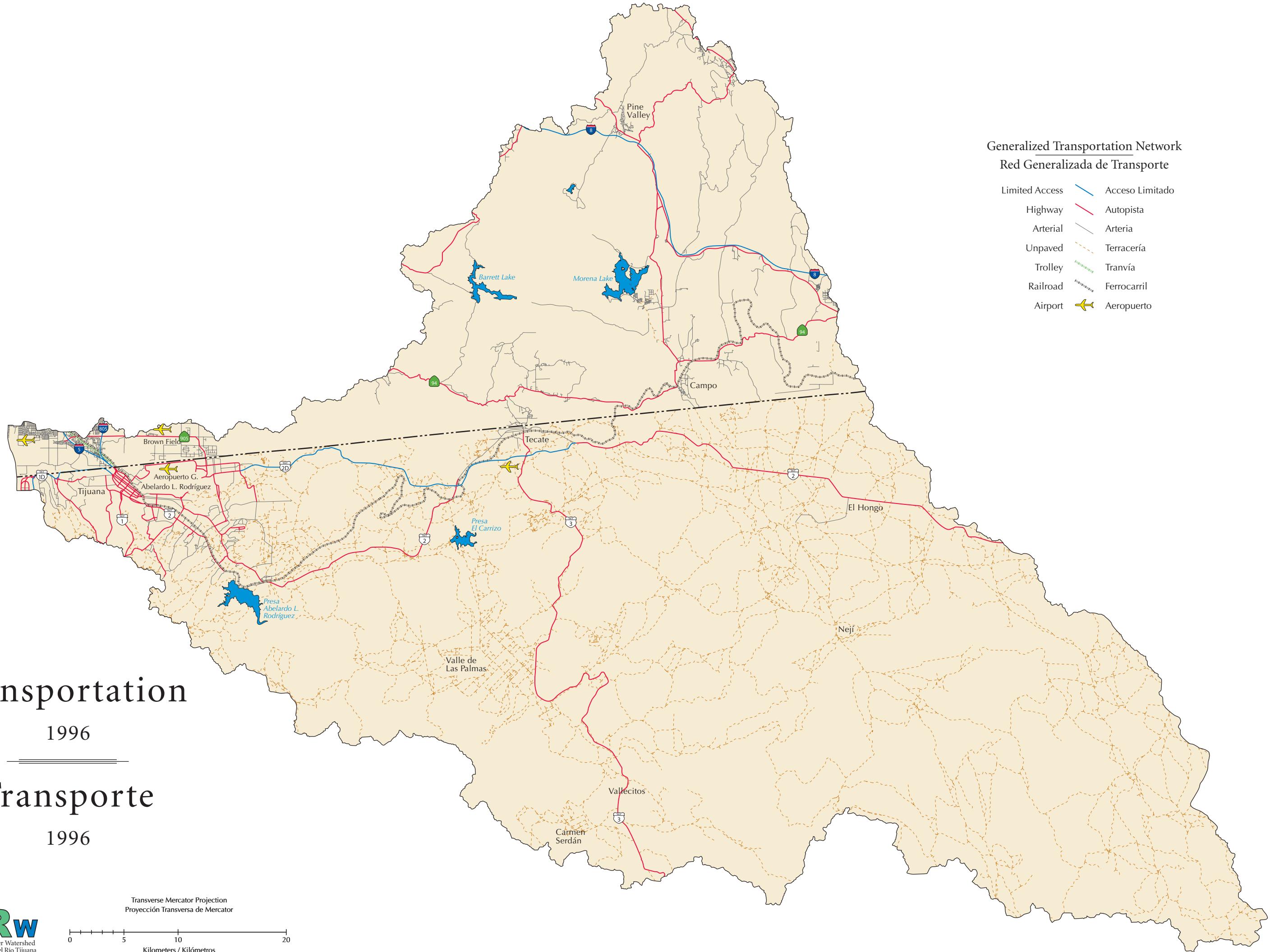
La Ciudad de Tijuana cuenta con una importante zona comercial y de servicios—la Zona Río—que es accesible mediante un sistema saturado de avenidas y calles. Las arterias principales se extienden al oeste de la ciudad hacia la delegación de Playas de Tijuana, y al este hacia la Mesa de Otay, para luego conectarse en el lado de San Diego con la autopista 905. Otras áreas de Tijuana se comunican por arterias menores.

Poblados pequeños y dispersos se encuentran fuera de la zona urbana de Tijuana. Varios de estos están conectados por las principales carreteras. La carretera 2 comunica a la zona de la costa con la ciudad de Tecate y El Hongo en la parte este de la cuenca; la carretera 3 corre al sur desde Tecate por el Valle de Las Palmas y hacia Ensenada; y la carretera 2D es una autopista de cuota entre Tijuana y Tecate que después de 1996 se extendió al este hacia El Hongo y Mexicali. Debido a la dispersión de los poblados por toda la cuenca, existen numerosos caminos de terracería. En la parte alta de la cuenca del lado estadounidense, los enlaces principales de este a oeste son la autopista interestatal 8 y la autopista 94. La 94 baja hacia el sur y se conecta en Tecate con la carretera 2 de México. Otras carreteras pavimentadas y de terracería conectan a los poblados pequeños y a las localidades habitacionales y tribales que están dispersas en la región.

La ciudad de Tijuana cuenta con el Aeropuerto Internacional Abelardo L. Rodríguez, el cual es uno de los aeropuertos de pasajeros más activos de México. En 1999, atendió a poco más de 3.5 millones de pasajeros, o el 32.9% de todos los pasajeros atendidos en las terminales aéreas de los estados fronterizos del norte de México. El Aeropuerto Rodríguez también es importante porque forma parte del sistema de transporte aéreo de la región de San Diego. El aeropuerto principal de dicho sistema es el Lindbergh Field del Aeropuerto Internacional de San Diego. En 1999, esta terminal atendió a 15 millones de pasajeros y ocupa el 28vo lugar dentro del conjunto de aeropuertos comerciales de los Estados Unidos.

Un sistema de transporte de tren ligero de pasajeros—the *trolley* de San Diego—se conecta con la frontera en San Ysidro y enlaza a Tijuana y a la frontera con la parte central de San Diego y al Condado Este con Santee. El tren es una conexión importante de transporte entre Tijuana y la región de San Diego.

La línea ferroviaria San Diego-Este de Arizona se utiliza para transporte de carga. Esta línea conecta a las ciudades fronterizas de San Diego, Tijuana y Tecate con el Valle Imperial. Existe una propuesta en Baja California para construir una nueva línea que conecte al Puerto de Ensenada con la vía de ferrocarril cerca de Tecate. Además, una corta sección de la vía entre Campo y Tecate es utilizada por un tren turístico.



Vegetation Change

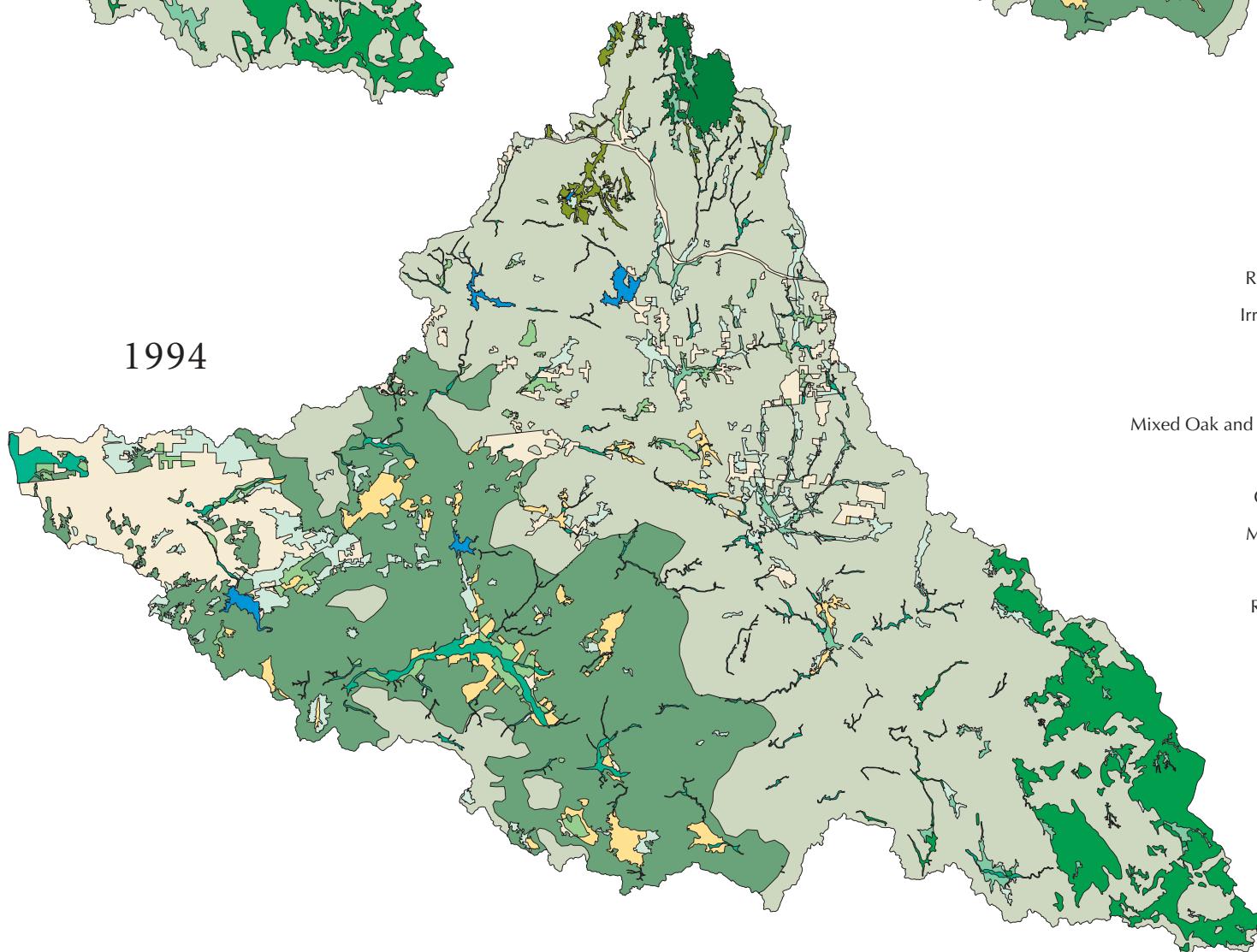
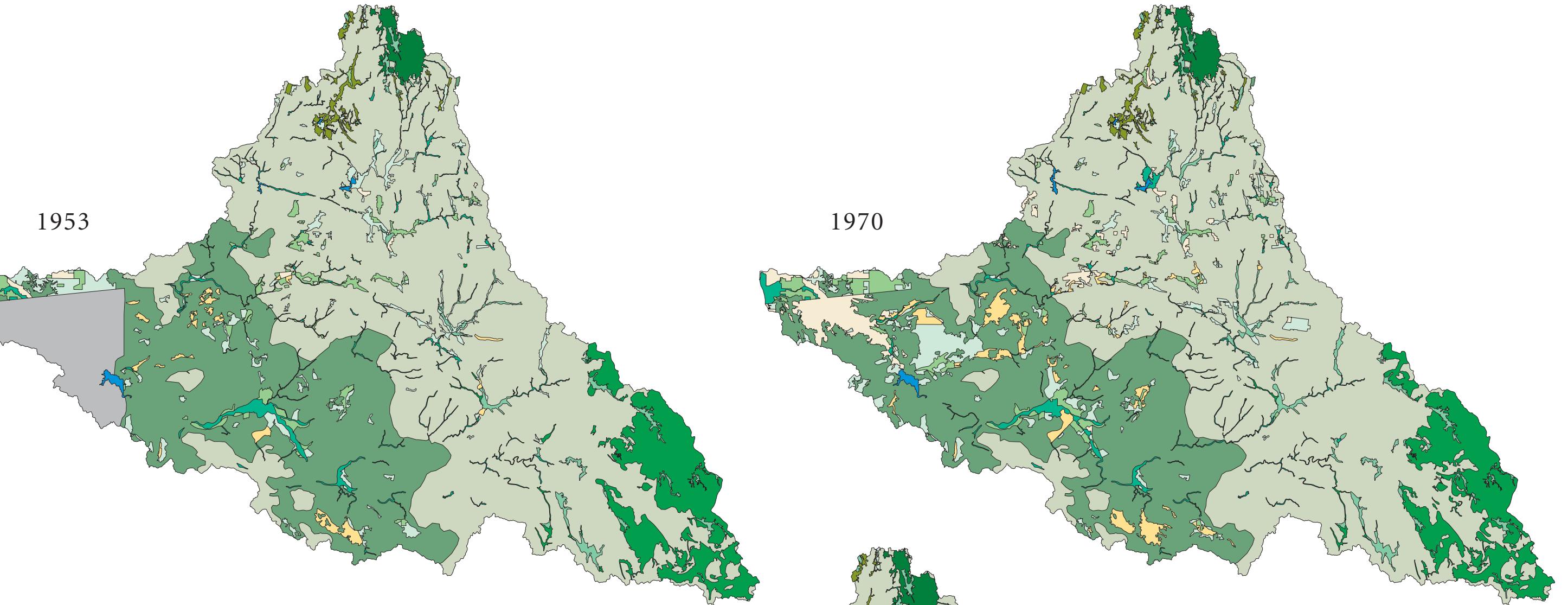
Cambios en la Vegetación

Environmental degradation, as effectively represented by loss of natural vegetation, is a problem in many parts of the watershed. The loss of vegetation results in fragmentation of habitat or the process of subdividing a continuous habitat into smaller, disconnected patches. Fragmentation, in turn, leads to a decrease in biological diversity.

These maps show the distribution of different types of vegetation for 1953, 1970, and 1994, and is based on the interpretation of aerial photographs for those years. Changes in land use/land cover, particularly the conversion of natural cover to agricultural and urban uses, are seen throughout the watershed, but especially in the rapidly urbanizing Tecate-Tijuana section. Here, fragmentation of sensitive habitats such as coastal sage scrub and riparian woodland is most pronounced. Farther east, significant vegetation fragmentation has occurred in Mexico along Highway 2 and in the vicinity of El Hongo northward to the international border.

La degradación ambiental, eficazmente representada por la pérdida de la vegetación natural, es un problema en muchas partes de la cuenca. La pérdida de vegetación resulta en una fragmentación de los hábitats o en un proceso que subdivide a un hábitat continuo en partes pequeñas y desconectadas. La fragmentación, a su vez, conduce a una disminución de la diversidad biológica.

Estos mapas muestran la distribución de diferentes tipos de vegetación en 1953, 1970 y 1994, y se basan en la interpretación de fotografías aéreas para esos años. Por toda la cuenca se ven cambios en el uso del suelo o la cobertura del suelo, sobre todo la conversión de la cubierta natural a usos agrícolas y urbanos, especialmente en la sección de acelerada urbanización en Tecate y Tijuana. Aquí, la fragmentación de hábitats susceptibles, tales como el matorral costero de salvia y los bosques riparios, es más notable. Más hacia el este, se ha dado una importante fragmentación de la vegetación en México, a lo largo de la carretera 1 y en las inmediaciones de El Hongo, al norte hacia la frontera internacional.



Vegetation Change

Cambios en la Vegetación

Population Density

Population density provides information about the concentration and dispersion of population within the Tijuana-San Diego region. Densities have been computed for enumeration units for the 1990 and 2000 censuses. In the United States, these units are called census tracts. They are relatively small, homogeneous subdivisions containing between 1,000 and 8,000 inhabitants. In Mexico, the comparable units are called Basic Geostatistic Areas (AGEBs, in Spanish). An urban AGEB defines a town section by groups that are generally comprised of 25 to 50 blocks. INEGI divides an AGEB once it surpasses 5,000 inhabitants, which is why the boundary of an AGEB can vary from one census to another.

The City of Tijuana is characterized by rapid population growth that is due, in large part, to migration from other parts of the country. The maps show an increase in population density in the city's central area. The growth is especially noticeable in the eastern part of Tijuana. Due to rapid population growth, areas that were moderately dense in 1990 became densely populated by 2000. The populations of Playas de Rosarito and Tecate also grew substantially during the 1990–2000 period. Population density increased in both locations, although it is more noticeable in Tecate. However, the expansion of the urban footprint is more evident in Rosarito than in Tecate.

The population in the Tijuana River Watershed will likely continue to increase because of the attractiveness of the region for people from other areas of the United States and Mexico. Although growth as rapid as in the last decade is not expected, it is probable that the population will continue to concentrate in urban areas. It is important to recognize that the region's physical characteristics necessitate having strategies in place for directing the location of population growth in the future. Topography, in particular, is an important factor to consider in planning for density increases, urban infrastructure expansion, and for projecting population flows into rural areas as well as among cities. It is also necessary to clearly define for the Mexican section of the watershed the site characteristics and requirements for building. Since the topography of Tijuana has many steep slopes, it is important to carefully limit development in such areas. Not only are these more prone to damage by natural hazards, but the costs of providing sewage, water, and other infrastructure to such areas are quite high.

The patterns of population distribution in the transborder region with more than 2.5 million inhabitants show strong contrasts. In San Diego, the general tendency has been to retain relatively low densities. In Tijuana, however, urban densities have increased. This has resulted in reduction of residential open space and a deterioration in quality of life.

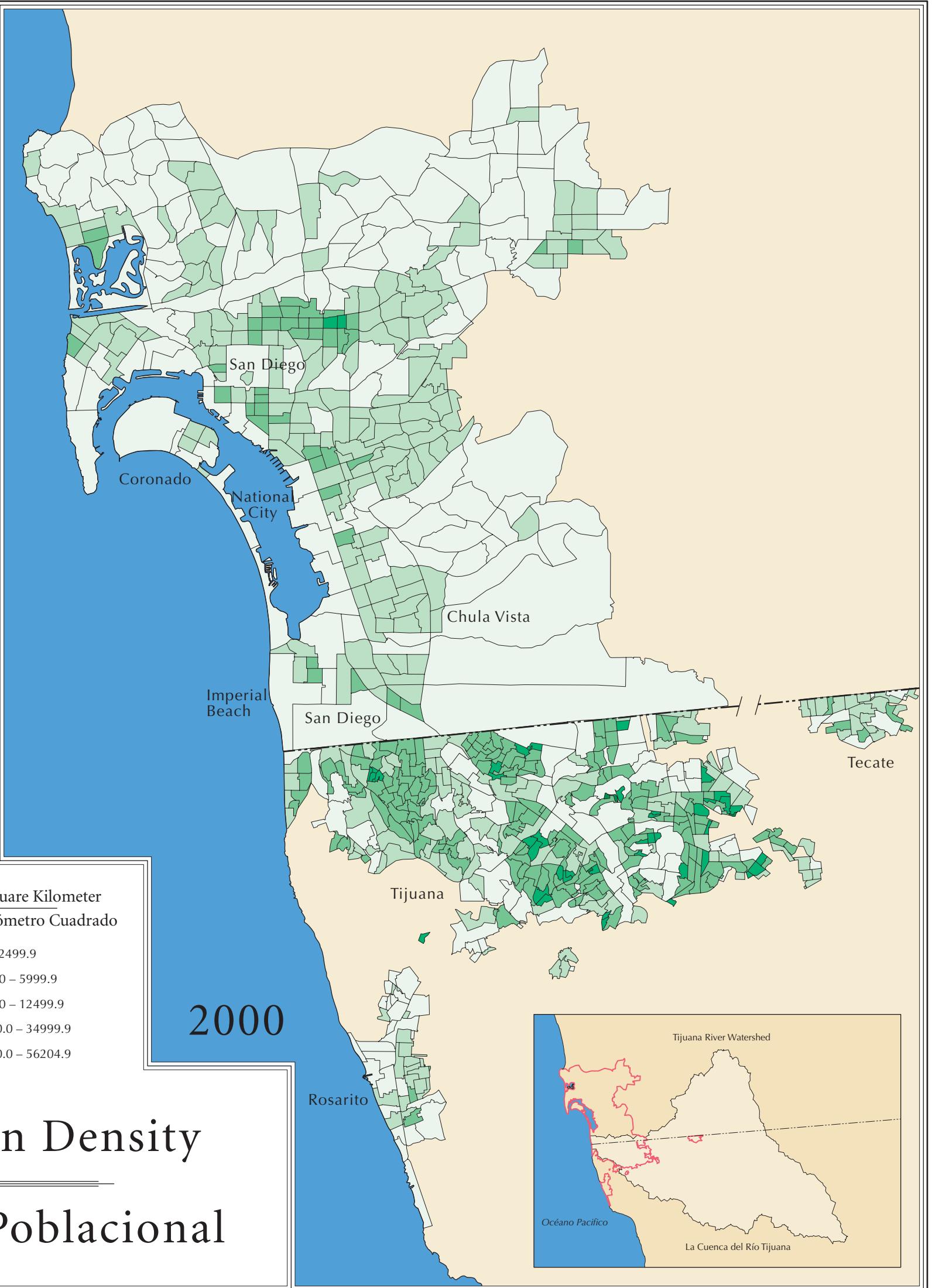
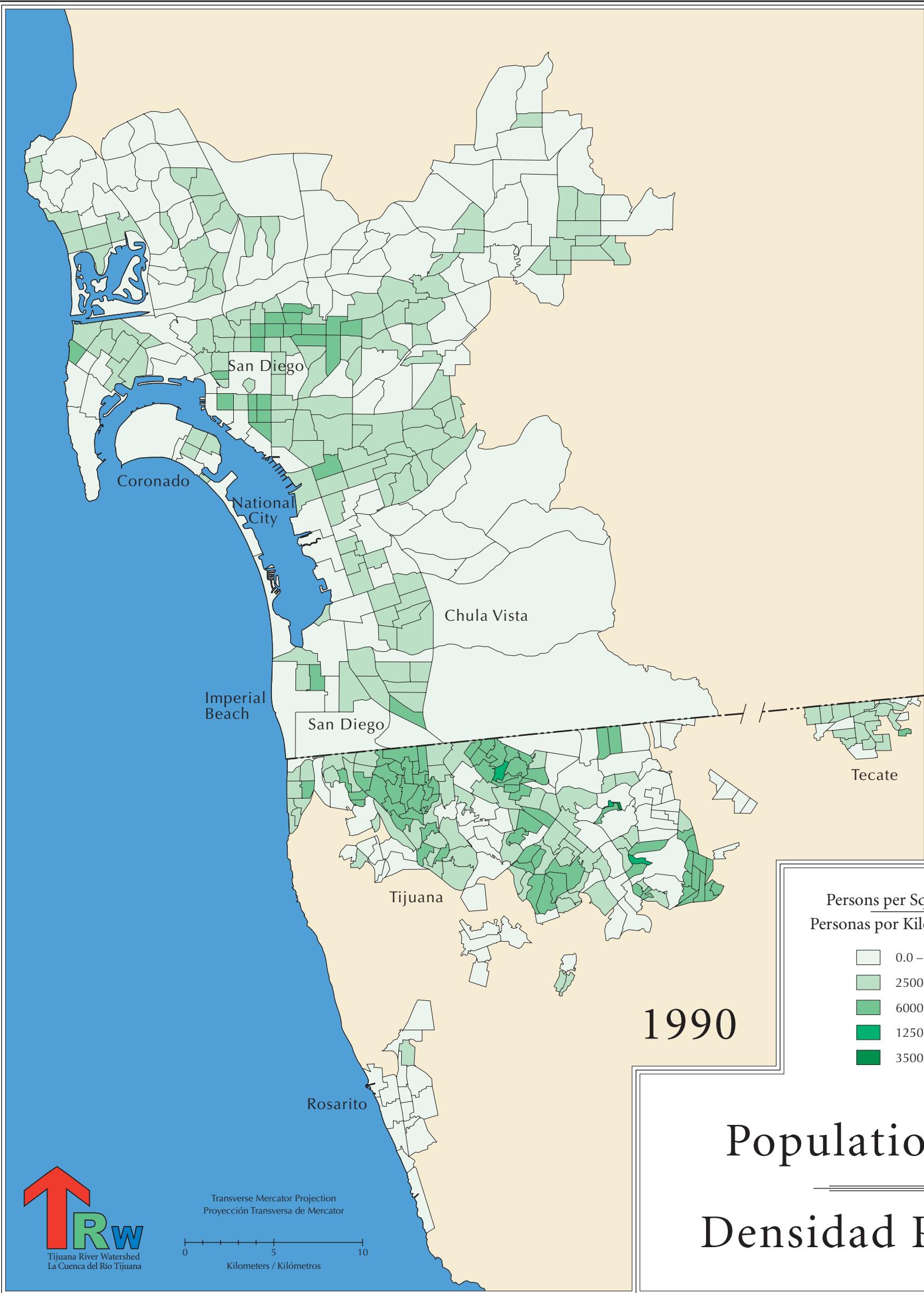
Densidad Poblacional

La densidad de población proporciona información sobre la concentración y dispersión de la población dentro de la región de Tijuana-San Diego. Las densidades han sido estimadas para unidades establecidas para los censos de 1990 y 2000. En los Estados Unidos, estas unidades se denominan secciones censales (*census tracts*). Éstas son subdivisiones relativamente pequeñas y homogéneas que contienen generalmente entre 1,000 y 8,000 habitantes. En México, las unidades comparables se denominan Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEBs). Una AGEB urbana delimita una parte de la localidad en conjuntos que generalmente se integran de 25 a 50 manzanas. El INEGI divide una AGEB una vez que ésta sobrepasa los 5,000 habitantes, por lo que los límites de una AGEB pueden variar de un censo a otro.

La Ciudad de Tijuana se caracteriza por un rápido crecimiento poblacional que se debe, en gran parte, a la migración desde otras partes del país. Los mapas muestran un aumento en la densidad poblacional de la zona centro de la ciudad. Este crecimiento es particularmente notorio en la parte este de Tijuana. Debido al acelerado crecimiento poblacional, las zonas que mostraban densidades moderadas en 1990 se convirtieron en densamente pobladas para el año 2000. Las poblaciones de Playas de Rosarito y de Tecate también aumentaron sustancialmente durante el periodo de 1990 a 2000. La densidad poblacional aumentó en ambas localidades, aunque es más notorio en Tecate. Sin embargo, la expansión de la mancha urbana es más notable en Rosarito que en Tecate.

Es probable que la población de la Cuenca del Río Tijuana siga aumentando debido a lo atractivo de la región para personas de otras partes de los Estados Unidos y de México. Aunque no se espera un crecimiento tan acelerado como el de la última década, es probable que la población continúe concentrándose en las zonas urbanas. Es importante reconocer que las características físicas de la región necesitan contar con estrategias para dirigir la ubicación del crecimiento poblacional en el futuro. La topografía, en particular, es un factor importante a considerar en la planificación de los aumentos de densidad y de la expansión de la infraestructura urbana. También es un factor importante para estimar los flujos de población en las zonas rurales, así como entre ciudades. Además, es necesario definir con claridad en la sección mexicana de la cuenca las características del terreno y los requisitos para el desarrollo. Debido a que la topografía de Tijuana tiene numerosas zonas con pendientes pronunciadas, es importante condicionar el desarrollo en tales zonas. Éstas no solamente son más propensas a daños por fenómenos naturales, sino que los costos para proveer infraestructura de drenaje, agua y otra en tales zonas son bastante elevados.

Los patrones de distribución de la población en la región transfronteriza con más de 2.5 millones de habitantes muestran fuertes contrastes. En San Diego, la tendencia general ha sido mantener densidades relativamente bajas. Sin embargo, en Tijuana las densidades urbanas han aumentado. Esto ha resultado en reducción de espacios habitacionales abiertos y en un deterioro de la calidad de vida.



Urban Growth

Total and Residential Growth, 1956–1994

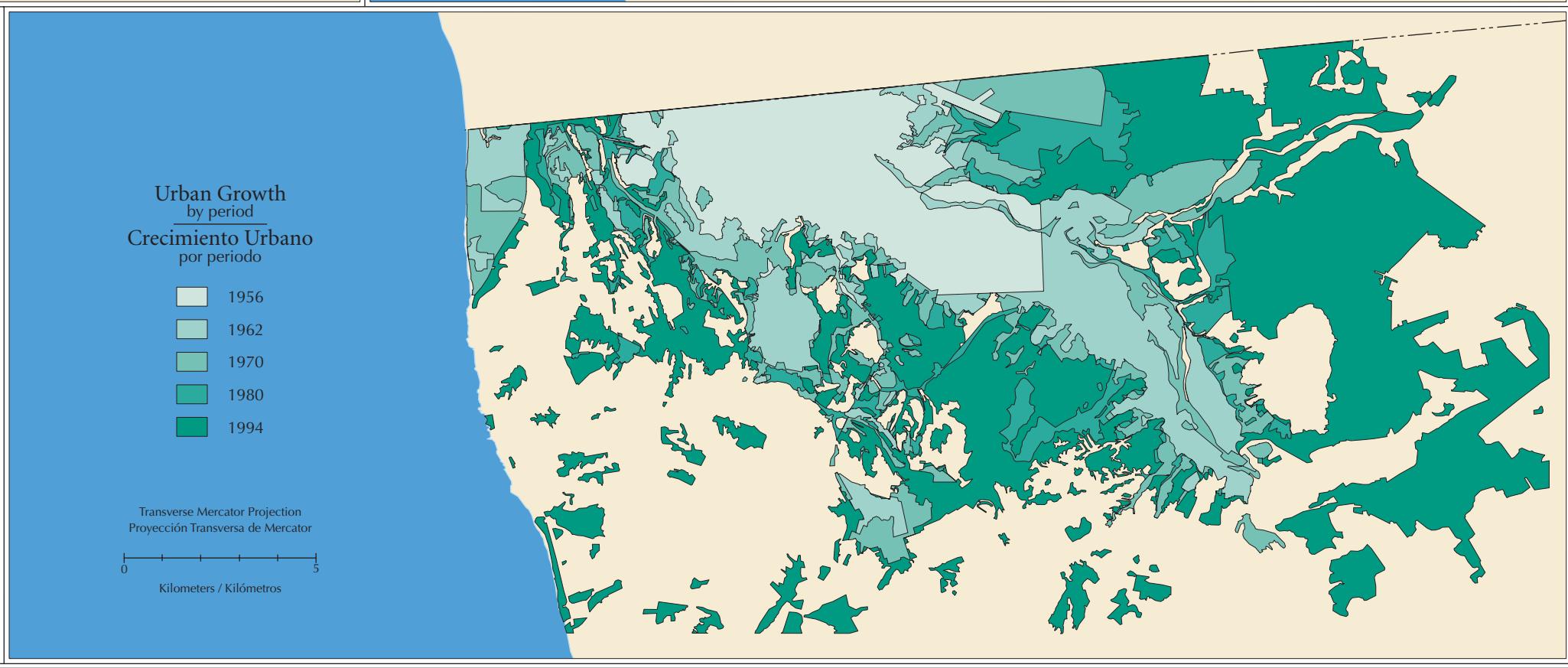
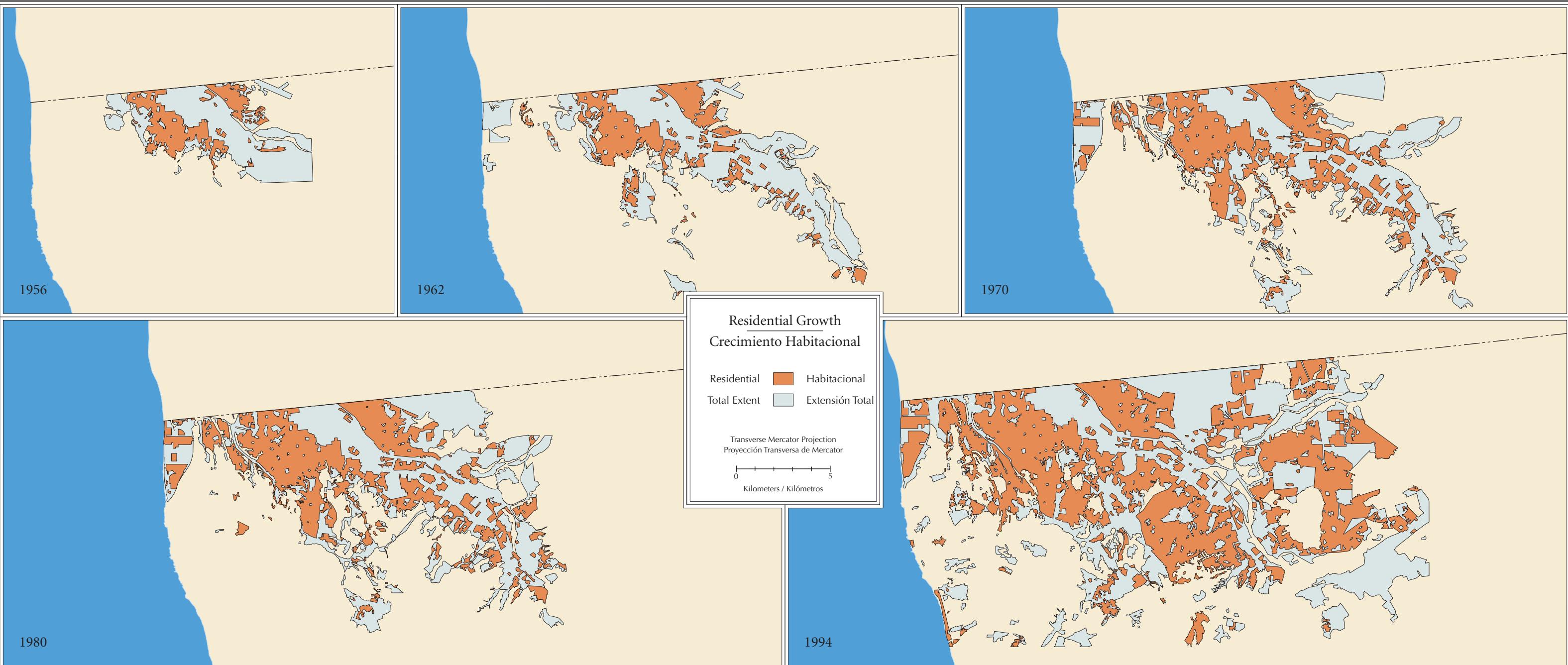
Through remotely sensed imagery (aerial photography and satellite recordings) it is possible to track changes in residential, commercial, industrial, and other land uses that comprise the urban footprint. In 1956, only three years after the Municipality of Tijuana was officially constituted, the city had a population of slightly more than 100,000 in an area of nearly 4,102 acres (1,660 hectares). Six years later (1962), the population had increased to approximately 170,000 inhabitants in an area of about 7,018 acres (2,840 hectares). Most of the growth during this period occurred near the international border. By 1970, the city's population had increased to about 280,000 inhabitants in an area of 13,840 acres (5,600 hectares). The road network was extended to the southeast, and the Playas area to the west and adjacent to the ocean began to be developed. The construction of the city's airport (Rodríguez Field) and maquiladora plants began during this time. From 1970 to 1980, growth continued east toward Presa Rodríguez, south toward Rosarito, west toward Playas, and on many of the hillsides and canyons that previously were unoccupied. By 1980, Tijuana's population was about 430,000 inhabitants in an area of 15,690 acres (6,350 hectares). By 1994, the population grew to almost one million inhabitants in an area of 35,340 acres (14,300 hectares). Expansion to the east continued and more and more of the hillsides south and southwest of the old urban core were covered with houses. Industrial parks were developed in three large areas: along the free road to Tecate, along the free road to Rosarito, and near the Otay Mesa border crossing. In recent years, urban land uses have continued to expand into areas that have a high propensity to erosion, landslides, and flooding. The population occupying these areas is highly vulnerable to natural hazards.

Rafael Vela

Crecimiento Urbano

Crecimiento Total y Habitacional, 1956–1994

Por medio de las imágenes de percepción remota (fotografía aérea y grabaciones satelitales) es posible seguir los cambios en los usos del suelo habitacionales, comerciales, industriales y otros que forman la mancha urbana. En 1956, a tan sólo tres años de que el Municipio de Tijuana fuera constituido oficialmente, la ciudad tenía una población de un poco más de 100,000 habitantes en una superficie de casi 1,660 hectáreas. Seis años después (1962), la población había aumentado a aproximadamente 170,000 habitantes en una superficie de unas 2,840 hectáreas. La mayor parte del crecimiento durante este periodo ocurrió cerca de la frontera internacional. Para 1970, la población de la ciudad había crecido a unos 280,000 habitantes en una superficie de 5,600 hectáreas. La red de vialidades fue ampliada hacia el sureste, y se comenzó a desarrollar el área de Playas al oeste y cerca del océano. La construcción del aeropuerto de la ciudad (Aeropuerto Rodríguez) y de maquiladoras empezó durante este tiempo. De 1970 a 1980, el crecimiento continuó al este hacia la Presa Rodríguez, al sur hacia Rosarito y al oeste hacia Playas y en numerosas laderas y cañones que antes estaban desocupados. Para 1980, la población de Tijuana era de unos 430,000 habitantes en una superficie de 6,350 hectáreas. Para 1994, la población creció a casi un millón de habitantes en una superficie de 14,3000 hectáreas. La expansión hacia el este continuó y más y más laderas al sur y suroeste del antiguo núcleo urbano fueron cubiertas de casas. Los parques industriales fueron desarrollados en tres grandes áreas: a lo largo de la autopista de cuota a Tecate, a lo largo de la carretera libre a Rosarito y cerca del cruce fronterizo de la Mesa de Otay. En años recientes, los usos urbanos del suelo se han seguido expandiendo hacia zonas que tienen una elevada propensión de erosión, deslaves e inundaciones. La población que ocupa estas zonas es sumamente vulnerable a los desastres naturales.



Satellite Image

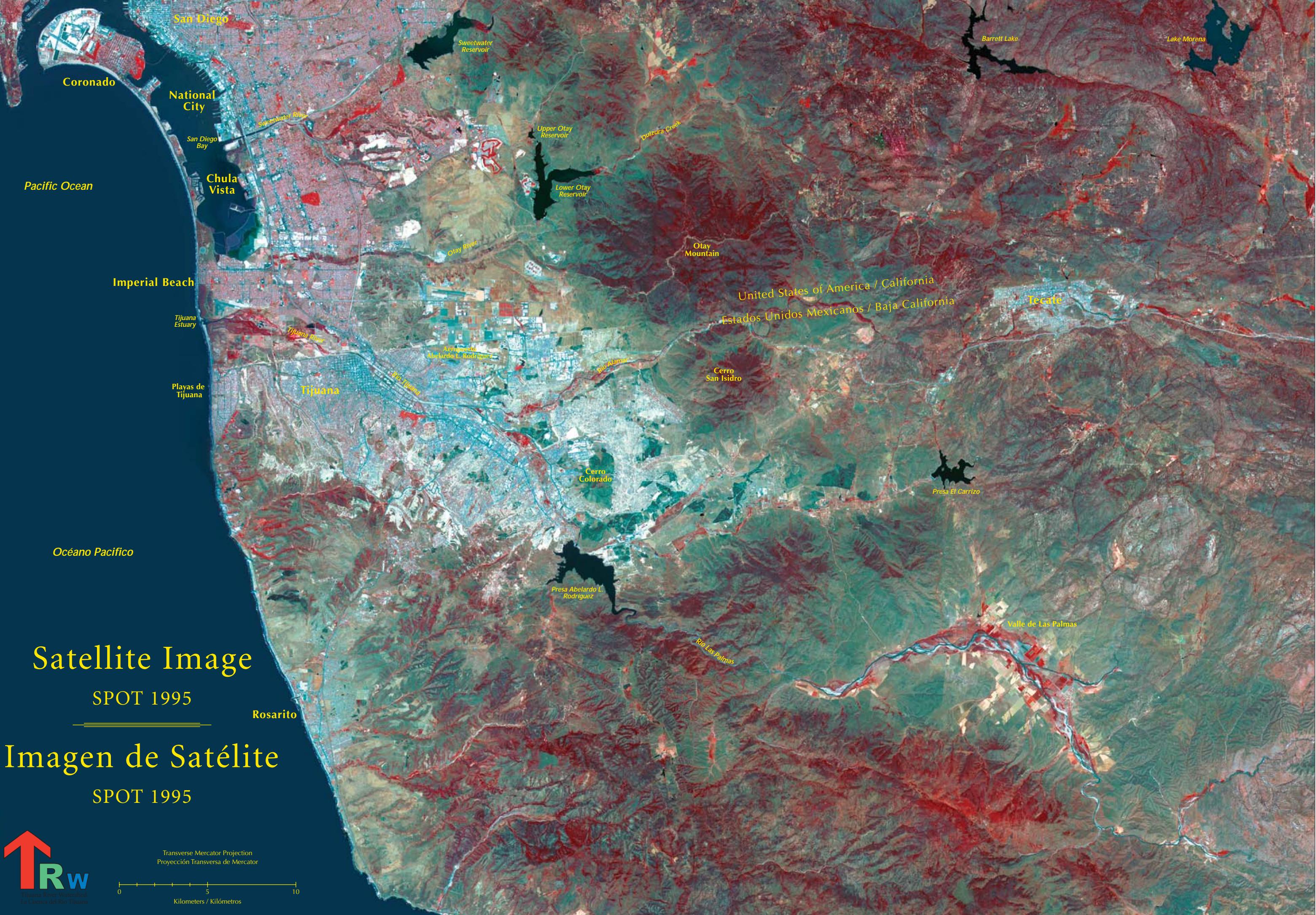
SPOT 1995

This view of the Tijuana-San Diego region is a SPOT multispectral image obtained during the summer of 1995. The ability to identify features in the landscape is determined by the spatial and spectral resolutions of the image. Spatial resolution refers to the size of the smallest picture element (pixel) that the sensor can register. In this image, the size of each pixel is 20 meters (66 ft) by 20 meters. The 20-meter resolution allows larger features such as freeways, major reservoirs, and urban areas to be discerned, but does not permit smaller features such as different types of land use within the urban footprint to be distinguished. Spectral resolution refers to capability of the sensor to distinguish different portions of the electromagnetic spectrum. The combination of different bands from this sensor has resulted in a false color or color infrared image. The infrared sensor is especially useful in identifying chlorophyll in plants and thus helps to distinguish different types and densities of vegetation cover. The extent of vegetated areas can be easily seen because the image was taken during the summer dry season. Especially noticeable are the more heavily vegetated areas found at higher elevations in the northeastern and southern sections of the image. The image clearly reveals the difference in the amount of green areas within the urban areas from one side of the border to the other. This is primarily due to the greater amount of irrigated landscapes found in the United States section. The principal surface water reservoirs of the region are shown in dark tones. This is because water tends to absorb a great amount of energy and releases very little.

Imagen de Satélite

SPOT 1995

Esta vista de la región de San Diego-Tijuana es una imagen multiespectral del satélite SPOT obtenida durante el verano de 1995. La habilidad para identificar las características del paisaje es determinada por las resoluciones espaciales y espectrales de la imagen. La resolución espacial se refiere al tamaño del elemento más pequeño (píxel) en la imagen que el sensor puede registrar. En esta imagen, el tamaño de cada píxel es de 20 metros por 20 metros. La resolución de 20 metros permite discernir las características grandes tales como autopistas, presas principales y zonas urbanas, pero no permite distinguir las características más pequeñas como los diferentes tipos de suelos dentro de la mancha urbana. La resolución espectral se refiere a la capacidad del sensor de distinguir las diferentes partes del espectro electromagnético. La combinación de bandas diferentes de este sensor ha resultado en un color falso o imagen de color infrarrojo. El sensor infrarrojo es particularmente útil en la identificación de clorofila en las plantas y así ayuda a distinguir los diferentes tipos y densidades de la cobertura vegetal. La extensión de las áreas de vegetación se puede ver con facilidad porque la imagen fue tomada durante la temporada seca de verano. Particularmente notorias son las áreas con mucha vegetación que se encuentran a mayores altitudes en las secciones noreste y sur de la imagen. La imagen revela con claridad la diferencia en la cantidad de áreas verdes dentro de las zonas urbanas de un lado y otro de la frontera. Esto se debe primordialmente a la mayor cantidad de paisajes de riego que se encuentran en la sección estadounidense. Las presas principales de la región se muestran en tonos oscuros. Esto se debe a que el agua tiende a absorber una gran cantidad de energía y descarga muy poca.



Satellite Image

LANDSAT 2000

This is a false-color infrared image taken by the Landsat 7 sensor during the summer of 2000. This image has a spatial resolution of 30 meters.

The total precipitation in Presa Rodríguez for the rainy season prior to the acquisition of the 2000 imagery was significantly lower than the amount registered in the same location for the rainy season prior to the 1995 imagery. The somewhat dryer conditions for 2000 may explain some of the color differences in the vegetation cover representation between the 1995 and 2000 images.

A visual comparison of the 1995 and 2000 imagery indicates that urban expansion continues, particularly for Tijuana, whose growth is extending east and southwest. The international boundary is very visible in both images. This relates, to a large extent, to the contrasting land uses from one side of the border to the other.

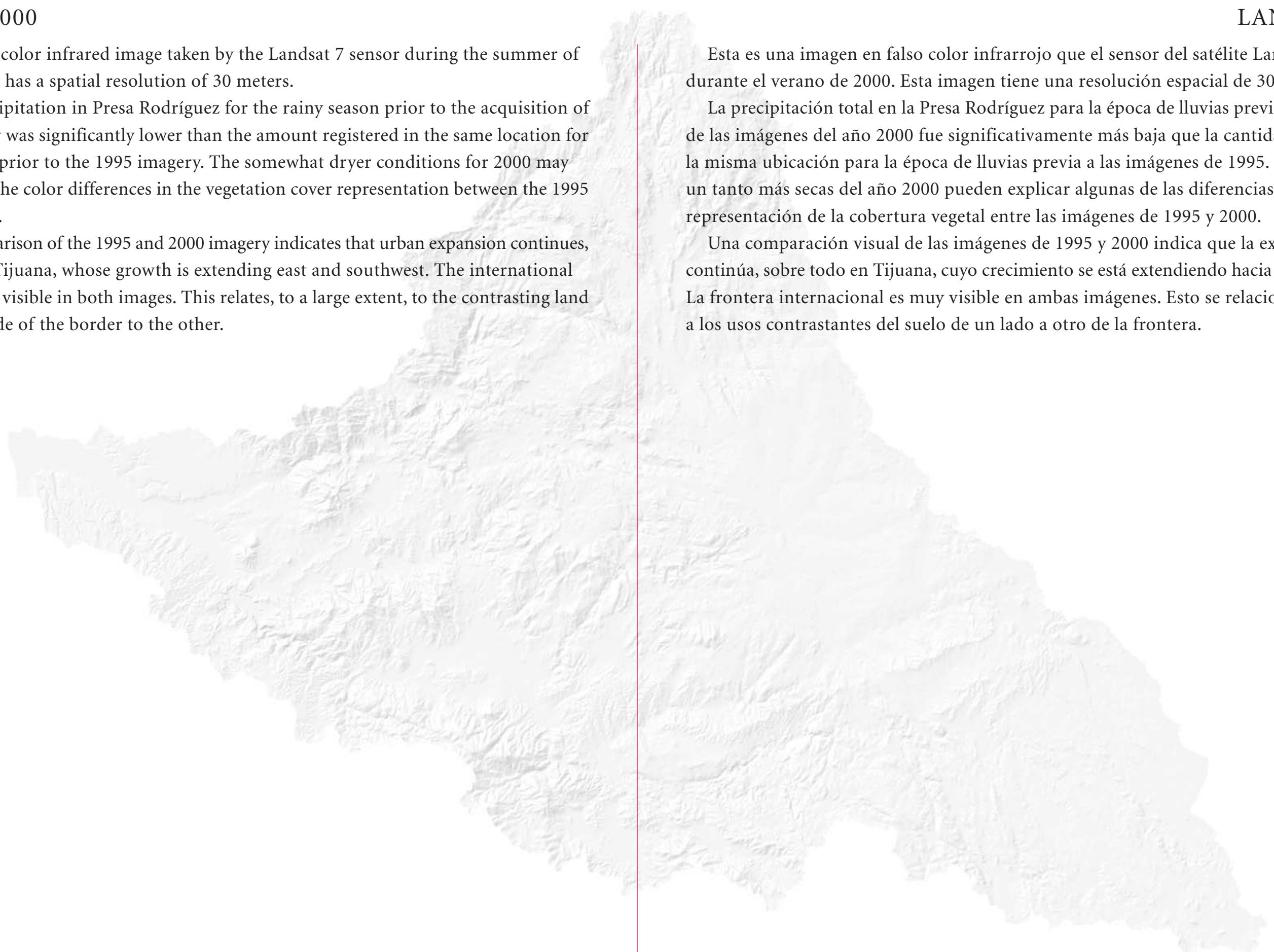


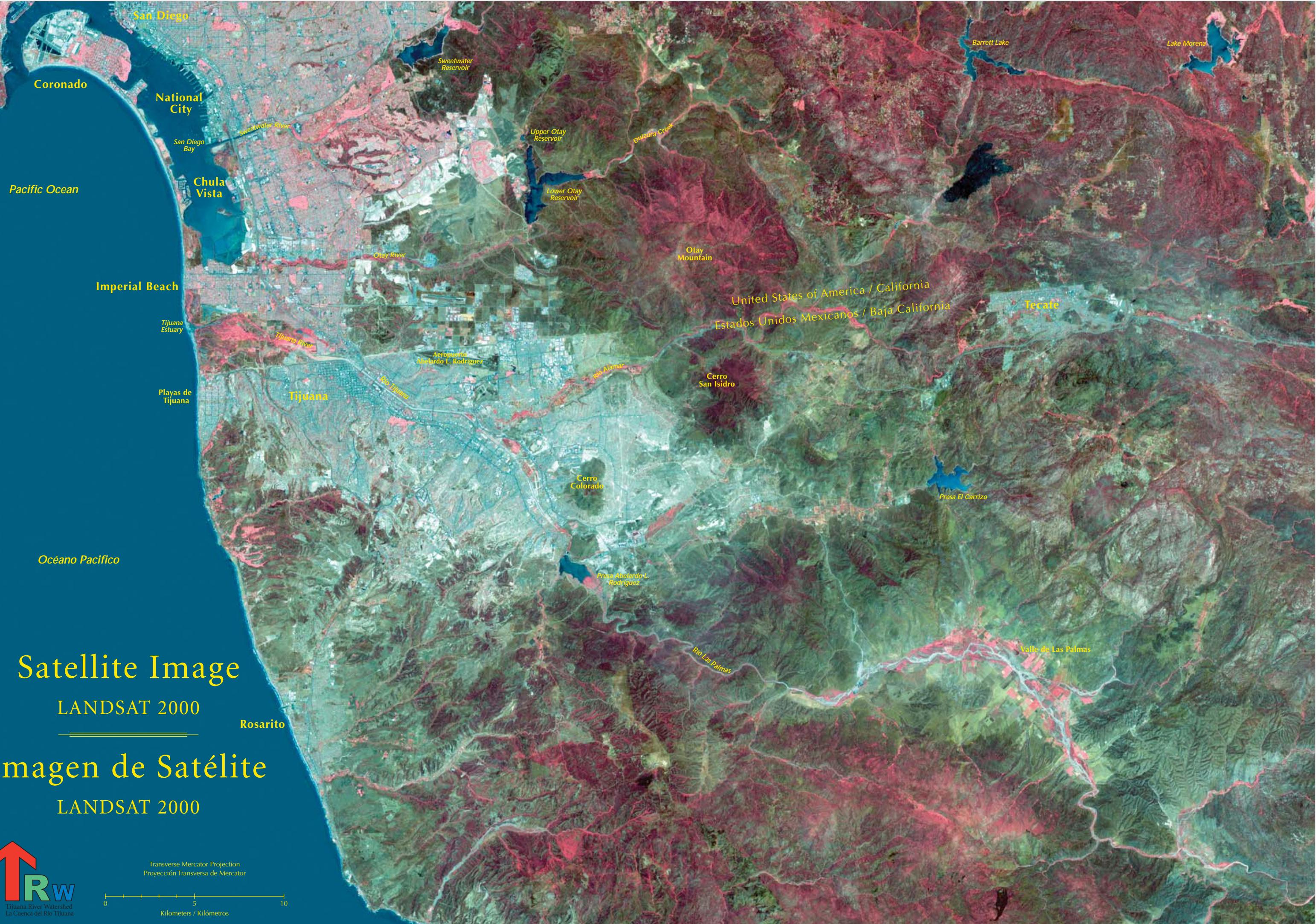
Imagen de Satélite

LANDSAT 2000

Esta es una imagen en falso color infrarrojo que el sensor del satélite Landsat 7 capturó durante el verano de 2000. Esta imagen tiene una resolución espacial de 30 metros.

La precipitación total en la Presa Rodríguez para la época de lluvias previa a la adquisición de las imágenes del año 2000 fue significativamente más baja que la cantidad registrada en la misma ubicación para la época de lluvias previa a las imágenes de 1995. Las condiciones un tanto más secas del año 2000 pueden explicar algunas de las diferencias de color en la representación de la cobertura vegetal entre las imágenes de 1995 y 2000.

Una comparación visual de las imágenes de 1995 y 2000 indica que la expansión urbana continúa, sobre todo en Tijuana, cuyo crecimiento se está extendiendo hacia el este y suroeste. La frontera internacional es muy visible en ambas imágenes. Esto se relaciona en gran parte a los usos contrastantes del suelo de un lado a otro de la frontera.



Land use zoning is the planning and administrative instrument for regulating the daily dynamics of the city and its growth processes. Given the differences with regard to the classification of land use on each side of the border, it is necessary to employ highly generalized land use categories for comparative analysis.

The map shows that the predominant urban use on both sides of the border is residential. Of the total houses registered in the Municipality of Tijuana in the 2000 census, 98.9% were in the City of Tijuana. The City of Tecate had 67.0% of that municipality's houses and the figure for Playas de Rosarito was 77.6%. In contrast, the City of San Diego's percentage was 52.7% of the total houses of the County of San Diego in the 2000 census.

Land devoted to public facilities (such as open space, parks, gardens, and sports facilities) shows a noticeable difference from one side of the border to the other. The amount was barely one (1) square meter (11 ft^2) per inhabitant on the Mexican side, versus more than 50 square meters (538 ft^2) per inhabitant for San Diego.

Commercial areas are spaces of high employment concentration. These areas generate an important flow of goods and people, both within and outside their limits. Thus, they are linked to the communication and transportation networks. It is evident that in Tijuana, Tecate, and Rosarito, these areas are concentrated around their historical centers, while San Diego has a dispersed and multiple nuclei distribution of commercial activities.

In Tijuana, commercial areas are concentrated mainly in the downtown and river zone, as well as parallel to the Tijuana River. Playas de Rosarito's areas are limited to its downtown and southern part of the city, on Juárez Avenue, and parallel to the coast. In Tecate, these areas present a concentration associated with the historical center and highways that link it with Tijuana, Mexicali, and Ensenada. In the case of the City of San Diego, there is a polynuclei pattern of commercial areas, associated with the main roadways that trend north-south and east-west.

Industrial activities are concentrated in industrial parks of various sizes. The most important areas in Tijuana are located in the eastern part of the city near the Otay Mesa border crossing, in the southern part of the city at the Pacific Industrial Park, and in the southeast sector at El Florido Industrial Park. In Rosarito, this activity is restricted to the Federal Commission of Electricity's thermoelectric plant and to storage activities and fuel distribution of PEMEX. In Tecate, the brewery in the downtown area and the Tecate Industrial Park to the east stand out. In San Diego, this type of activity is concentrated in Otay Mesa, National City, and Kearny Mesa.

La zonificación de los usos del suelo urbano es el instrumento administrativo y de la planificación urbana que regula la dinámica cotidiana de la ciudad y sus procesos de crecimiento. Dada la diferencia entre las clasificaciones de usos del suelo en cada lado de la frontera, es necesario emplear categorías sumamente generalizadas de usos del suelo para un análisis comparativo.

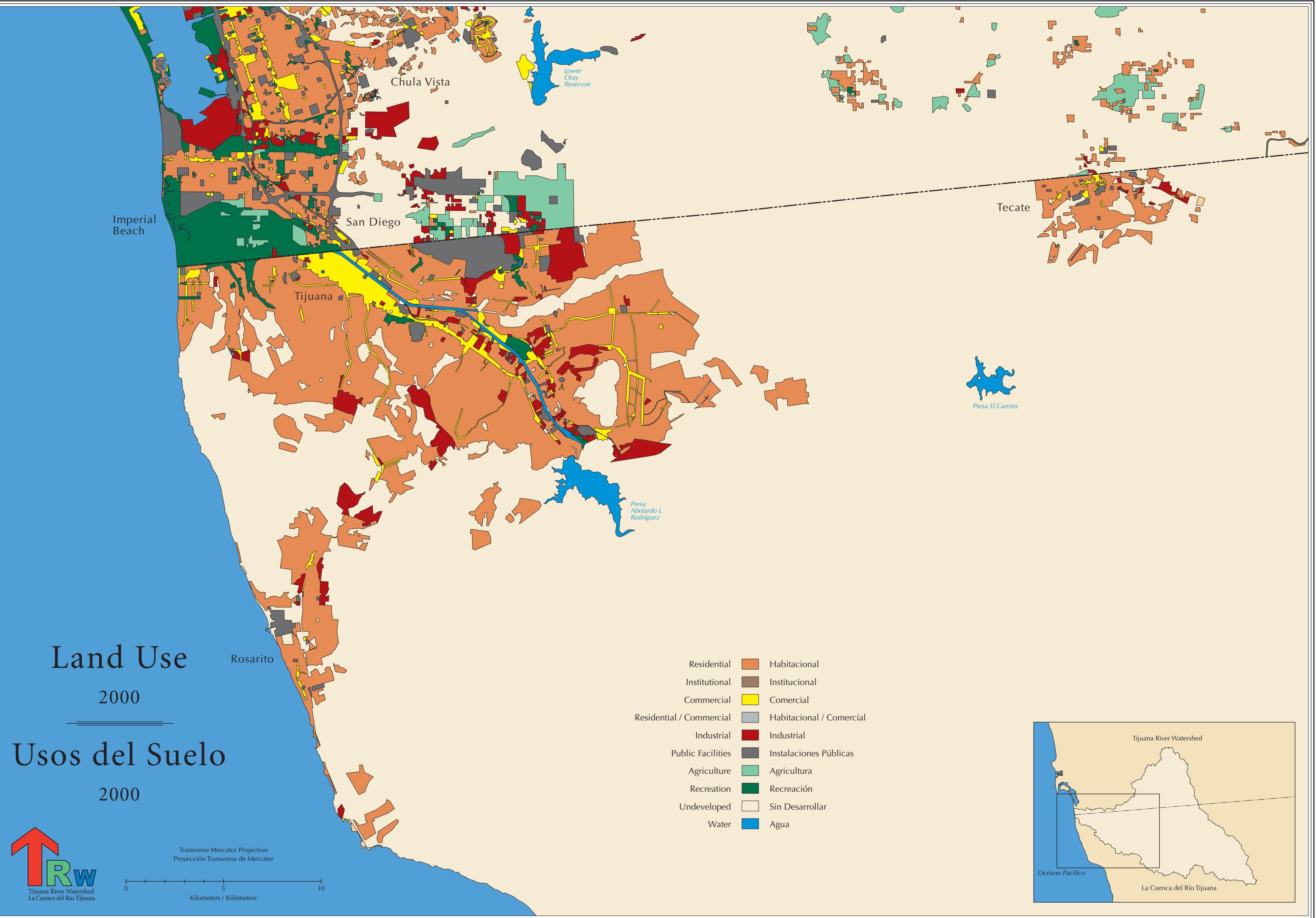
El mapa muestra que el uso urbano que predomina en ambos lados de la frontera es habitacional. Del total de viviendas registradas en el Municipio de Tijuana en el censo de 2000, un 98.9% correspondió a la Ciudad de Tijuana. La Ciudad de Tecate contó con el 67.0% de las viviendas del municipio y la cifra para Playas de Rosarito fue de 77.6%. En contraste, el promedio de la Ciudad de San Diego fue de 52.7% del total de viviendas del condado en el censo de 2000.

El suelo destinado a equipamiento (como el espacio abierto, parques, jardines, e instalaciones deportivas) muestra una notable diferencia en uno y otro lado de la frontera. La cantidad fue de apenas un metro cuadrado por habitante en el lado mexicano, contra más de 50 metros cuadrados por habitante para San Diego.

Las zonas comerciales son espacios de alta concentración de empleo. En ellas se genera un importante flujo de bienes y personas, ya sea dentro o fuera de sus límites. Por ende, están ligadas a las redes viales de comunicación y transporte. Es evidente que en Tijuana, Tecate y Rosarito, estas áreas se concentran alrededor de sus centros históricos, mientras que San Diego tiene una distribución dispersa y de núcleos múltiples de actividades comerciales.

En Tijuana, las zonas comerciales se concentran principalmente en la zona centro y en la zona del río, así como paralelas a la canalización del Río Tijuana. Las zonas de Playas de Rosarito se limitan a la zona centro y sur de la ciudad, sobre la Avenida Juárez, y paralelas a la costa. En Tecate, estas zonas presentan una concentración asociada con su centro histórico y carreteras que lo comunican con Tijuana, Mexicali y Ensenada. En el caso de la ciudad de San Diego, existe un patrón polinuclear de zonas comerciales, asociado con las principales vías que van de norte a sur y de este a oeste.

Las actividades industriales están concentradas en parques industriales de varios tamaños. Las zonas más importantes en Tijuana se encuentran en la parte este de la ciudad cerca de la garita de la Mesa de Otay, en la parte sur de la ciudad en el Parque Industrial Pacífico y en el sector sureste en el Parque Industrial El Florido. En Rosarito, esta actividad se restringe a la planta termoeléctrica de la Comisión Federal de Electricidad y a las actividades de almacenamiento y distribución de combustible de PEMEX. En Tecate destacan en la zona centro la planta de elaboración de cerveza y al este el Parque Industrial Tecate. En San Diego, este tipo de actividad se concentra en la Otay Mesa, National City y Kearny Mesa.



The plans defined by each locality are the instruments that rule and regulate the expansion process of each population center. The map shows the approved trends, but does not imply that by 2030 the different uses that it illustrates will be fully in place.

Housing areas are the priority for each of the cities and it is this type of use that predominates. A clear tendency is evident for consolidating urbanization southwest, between Tijuana and Playas de Rosarito, and east, between Tijuana and Tecate. However, an important project under way that will promote Tijuana's growth is the 2000 Corridor. This road—approximately 31 miles (50 km) long—links Tijuana's Mesa de Otay area with Popotla, south of Rosarito.

Industrial use represents the location of industrial parks that occupy a large area in the eastern part of Tijuana. This type of activity will continue to be important in Tijuana due to proximity to the border crossing into the United States. A major industrial area is distinguishable across from the Abelardo L. Rodríguez Airport on Otay Mesa, on the U.S. side of the border.

A large potential for mixed-use land exists for the area between Tijuana and Playas de Rosarito. This suggests that the trend will be for job creation in the commercial and services sectors and that the region's economy is transitioning away from the dependency on industry that characterized the last 30 years.

South of the international border, the lack of planning vision is noticeable with a paucity of green areas and recreational zones. This issue has not received adequate attention despite estimates that by 2030 the population for Tijuana, Tecate, and Playas de Rosarito alone will be almost 3.7 million inhabitants.

In San Diego, population growth will also require in the near future new areas for housing and other purposes. The most significant growth trends are in the northern part of San Diego County, but these are not included in the map's coverage. Otay Mesa, north of the border, will also see considerable housing, commercial, and industrial land use development.

The projections for increased land use are the result of multiple economic, demographic, social, political, and geographical interactions. The region's demographic dynamics will require a process of population distribution that considers environmental factors, as well as the expansion of service networks such as water, sewage, electricity, and roads. In addition, public and private investment will be needed for adequate development of the region in years to come.

Finally, an important obvious element in the map is that the urban structure reflects very different forms from one side of the border to the other with regard to occupation of urban space. Growth control will undoubtedly be the greatest challenge in the future for the region's land-use planning.

Los planes definidos por cada localidad son los instrumentos que norman y regulan el proceso de expansión de cada centro de población. El mapa muestra las tendencias aprobadas, pero no implica que para el año 2030 los diferentes usos que se ilustran serán totalmente aplicados.

Las zonas habitacionales son la prioridad para cada una de las ciudades y es este tipo de uso el que predomina. Se estima una clara tendencia por consolidar la urbanización al suroeste entre Tijuana y Playas de Rosarito, y al este, entre Tijuana y Tecate. Sin embargo, una obra importante en marcha que promoverá el crecimiento de Tijuana es el Corredor 2000. Esta vialidad—aproximadamente 50 kilómetros de longitud—comunica a la Mesa de Otay en Tijuana con Popotla, al sur de Rosarito.

El uso industrial representa la localización de parques industriales que ocupan un área extensa en la parte este de Tijuana. Este tipo de actividad seguirá siendo importante en Tijuana debido a su cercanía con el cruce fronterizo hacia los Estados Unidos. Se distingue una zona industrial grande frente al Aeropuerto Abelardo L. Rodríguez en Otay Mesa del lado estadounidense de la frontera.

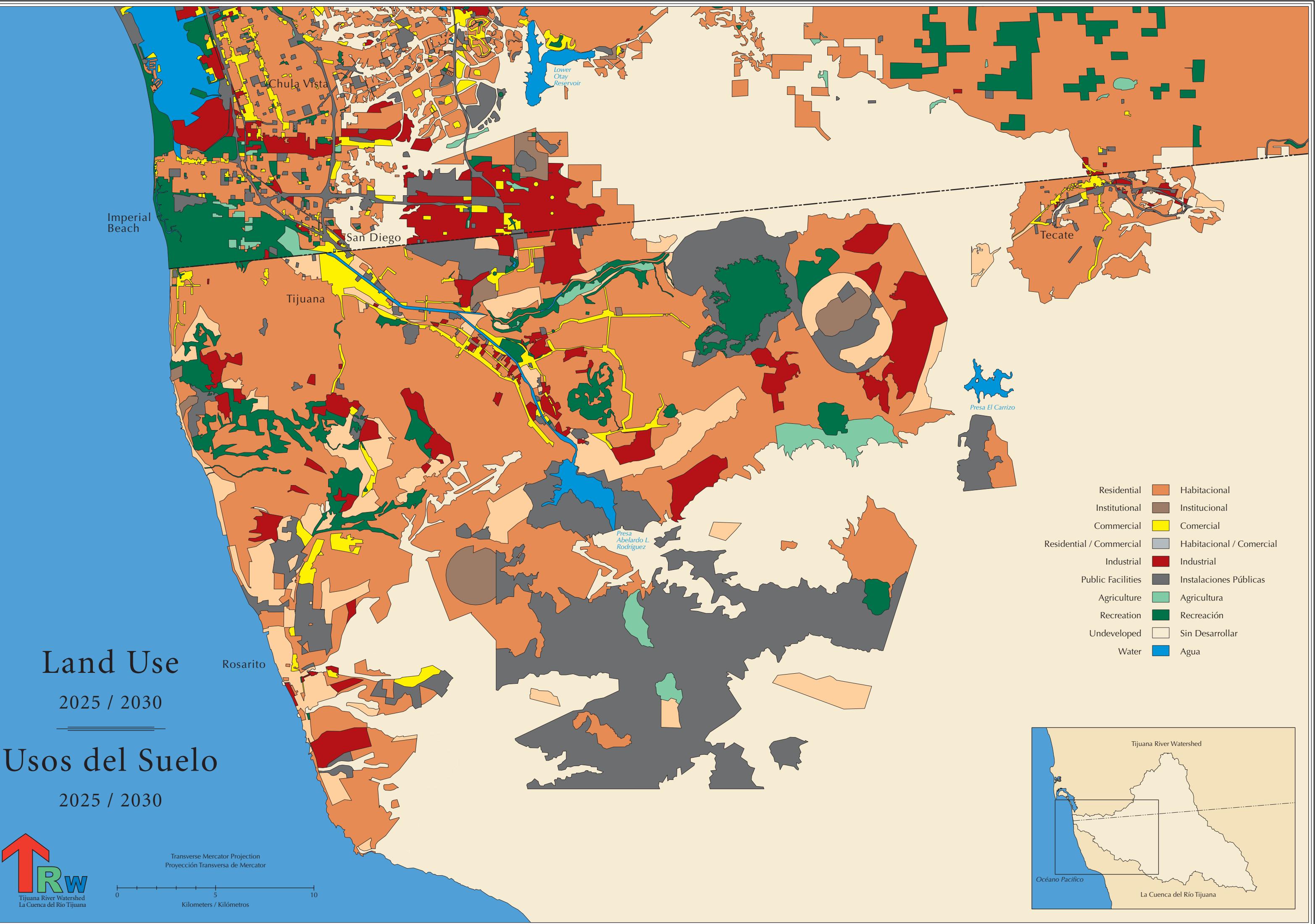
Existe un gran potencial de suelos para usos mixtos en el área entre Tijuana y Playas de Rosarito. Esto sugiere que la tendencia será de crear empleos en los sectores de comercio y de servicios. También sugiere que la economía de la región está en transición de apartarse de su dependencia de la industria, la cual la caracterizó los últimos 30 años.

La falta de visión para planificar al sur de la frontera internacional es notable con la falta de áreas verdes y zonas de esparcimiento. Este tema no ha recibido una atención adecuada a pesar de que para el año 2030 se estima una población de casi 3.7 millones de habitantes tan solo entre Tijuana, Tecate y Playas de Rosarito.

En San Diego, el crecimiento poblacional también requerirá en los próximos años nuevas áreas para vivienda y otros propósitos. Las tendencias de crecimiento más significativas se dan en la parte norte del Condado de San Diego, pero éstas no se incluyen en la cobertura del mapa. Otay Mesa, al norte de la frontera, también verá un desarrollo considerable de usos del suelo habitacional, comercial e industrial.

Las proyecciones del incremento en los usos del suelo son el resultado de múltiples interacciones económicas, demográficas, sociales, políticas y geográficas. La dinámica demográfica de la región requerirá un proceso de distribución poblacional que considere factores ambientales, así como la ampliación de las redes de servicios como agua, drenaje, luz y vialidades. Asimismo, se necesitarán inversiones públicas y privadas para un desarrollo adecuado de la región en los años venideros.

Por último, un elemento importante y obvio en el mapa es que la estructura urbana refleja formas muy distintas en la ocupación del espacio urbano de uno a otro lado de la frontera. El control del crecimiento será sin duda el gran reto en el futuro para la planificación de usos del suelo de la región.



Water Quality

Metal and Bacterial Concentrations, 1995–1997

Contamination by fecal bacteria of the Tijuana River Estuary and the nearshore coastal ocean has been a problem for more than half a century. Such contamination is the result of Tijuana's rapid population growth that lacks the corresponding increase in its sewage infrastructure. Due to the physiographic setting and proximity of the City of Tijuana to the United States, untreated sewage flows from Mexico into the United States via the Tijuana River and north-draining canyons.

The International Wastewater Treatment Plant (IWTP), constructed by the International Boundary and Water Commission (IBWC) near Dairy Mart Road in the United States, affords advanced primary treatment for effluent from Tijuana. This plant, along with the South Bay Ocean Outfall (SBOO)—which started operations in 1997—has reduced the pollution problem significantly, especially during dry weather. However, the IWTP does not have enough capacity to treat wet weather flows, which continue to pollute the river, estuary, and coastal waters during rain events.

Despite this pollution, a comparison of the sediment metal concentrations in the Tijuana River Estuary to other anthropogenically impacted estuaries in the United States shows that metal levels in sediments of the north arm of the estuary are relatively low. Additionally, analyses of the variation of pollutant concentrations in sediment cores from the Tijuana River Estuary have been used to study long-term trends of pollutant inputs to this system. These indicate that despite the history of uncontrolled releases of raw sewage and intensive industrial development since the 1980s, metal loading to the estuary has not markedly increased during this period. This may reflect the recent progress of pollution prevention activities in the watershed, which has served to counterbalance the rapid industrialization of the Mexican portion of the watershed. Moreover, there has been a significant decline in lead levels in sediments of the Tijuana River Estuary since the phase out of lead in gasoline.

Nonetheless, high levels of bacteria indicators of fecal contamination continue to plague nearshore ocean beaches (from Playas de Tijuana and northward to Imperial Beach and Coronado), particularly after rain events. Analyses of the ocean monitoring data, performed as part of the IWTP-SBOO monitoring, show that the main source of contamination in the ocean is land-based sources of pollution flowing out of the Tijuana River Watershed. Also, contaminated plumes either from the IWTP outfall, which extends 2.5 miles (4.1 km) off shore, or discharge of Mexican sewage south of the U.S.-Mexican border at Punta Bandera, are not playing a major role in nearshore beach contamination.

Calidad del Agua

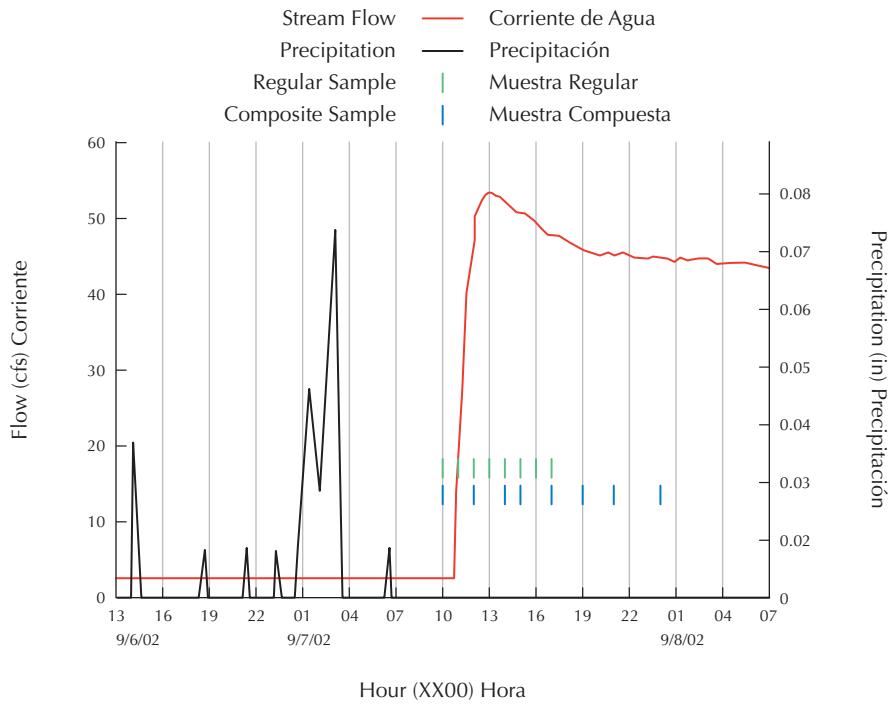
Concentraciones de Metales y Bacterias, 1995–1997

La contaminación por bacterias fecales en el Estuario del Río Tijuana y en el océano cerca a la costa ha sido un problema continuo por más de medio siglo. Esta contaminación es el resultado del acelerado crecimiento poblacional de Tijuana que carece de una ampliación proporcional de su infraestructura de drenaje. Debido a la posición fisiográfica y a la cercanía de la Ciudad de Tijuana con los Estados Unidos, las aguas residuales sin tratar fluyen desde México hacia los Estados Unidos por el Río Tijuana y los cañones que drenan hacia el norte.

La Planta Internacional de Tratamiento de Aguas Residuales (IWTP, por sus siglas en inglés), construida por la Comisión Internacional de Límites y Aguas (IBWC-CILA) cerca de la Calle Dairy Mart en los Estados Unidos, proporciona tratamiento primario avanzado para los efluentes de Tijuana. Esta planta, junto con la Desembocadura de South Bay (SBOO, en inglés)—la cual inició sus operaciones en 1997—ha reducido el problema de la contaminación de manera significativa, especialmente durante la temporada de sequía. No obstante, la IWTP no tiene la suficiente capacidad para tratar los flujos de los tiempos de lluvia, los cuales siguen contaminando el río, el estuario y las aguas costeras.

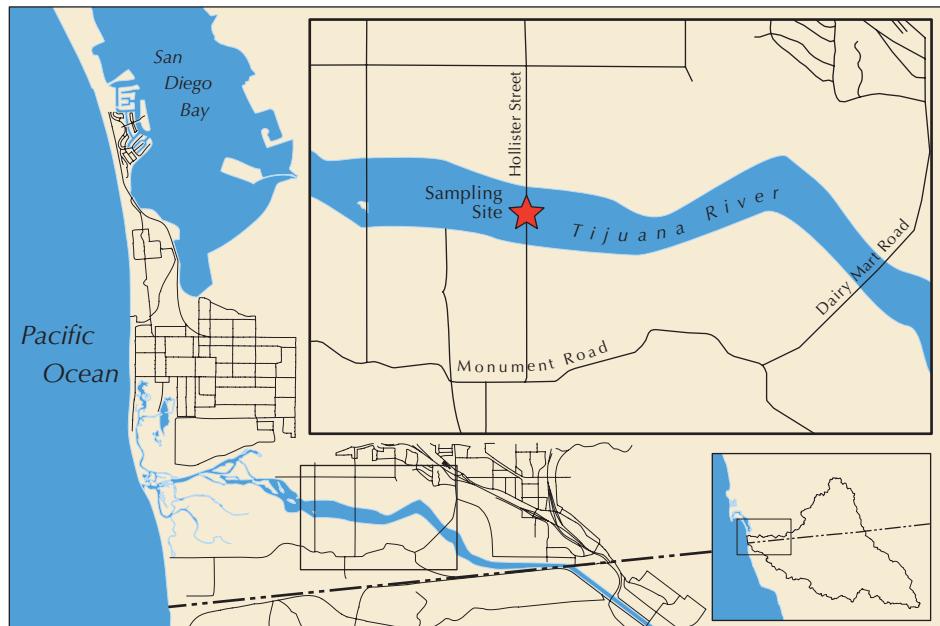
A pesar de esta contaminación, una comparación de las concentraciones de metales en los sedimentos del Estuario del Río Tijuana con otros estuarios antropogénicamente impactados en los Estados Unidos, muestra que los niveles de metales en los sedimentos en el brazo norte del estuario son relativamente bajos. Asimismo, los análisis de los sedimentos y su variación de concentraciones de contaminantes del estuario se han utilizado para estudiar las tendencias a largo plazo de las entradas de los contaminantes a este sistema. Éstos indican que a pesar del historial de las descargas sin control de aguas negras y del excesivo desarrollo industrial desde la década de 1980, la carga de metales en el estuario no ha aumentado visiblemente durante este periodo. Esto puede ser el reflejo del reciente progreso de las actividades de prevención de la contaminación en la cuenca, lo que ha servido de contrapeso en la industrialización acelerada de la parte mexicana de la cuenca. También ha habido una disminución importante en los niveles de plomo en los sedimentos del Estuario del Río Tijuana desde la eliminación progresiva de plomo en la gasolina.

No obstante, los altos niveles de bacterias que indican la contaminación fecal siguen impactando las playas (desde Playas de Tijuana y hacia el norte a Imperial Beach y Coronado), especialmente después de eventos de lluvia. Análisis de los datos de monitoreo del océano, realizados como parte del monitoreo de la IWTP-SBOO, muestran que las fuentes de contaminación de los centros de población que fluyen desde la Cuenca del Río Tijuana son la fuente principal de contaminación en el océano. Además, las plumas de contaminación ya sea de la desembocadura del IWTP, la cual se extiende 4.1 kilómetros de la costa, o de la descarga de aguas residuales mexicanas hacia al sur de la frontera de los Estados Unidos y México en Punta Bandera, no tienen un impacto importante en la contaminación de las playas.



These two graphs show representative response for stream flow and heavy metal concentrations during and after a storm event in the Tijuana River Watershed. The chosen storm event occurred September 5-7, 2002. All sampling was taken at the Hollister Street site (see map below). The graph on the left is the storm hydrograph depicting stream flow with precipitation amount superimposed. Measurements were compiled from flow-weighted composite sampling during the storm. The figure on the right is a "pollutograph" depicting heavy metal runoff concentrations. Samples were taken every hour during the first major flush for the storm event.

Estas dos gráficas muestran la respuesta representativa de los flujos de corrientes y concentraciones de metales pesados durante y después de una tormenta en la Cuenca del Río Tijuana. La tormenta seleccionada ocurrió del 5 al 7 de septiembre de 2002. Todas las muestras fueron tomadas en el sitio de la Calle Hollister (ver mapa abajo). La gráfica de la izquierda es el hidrograma de la tormenta que representa los flujos de corrientes con la cantidad de la precipitación sobreposta. Las medidas fueron recopiladas del muestreo de compuestos cuyo peso fue tomado en las corrientes durante la tormenta. La figura de la derecha es una "contamigráfica" que representa las concentraciones de la escorrentía de metales pesados. Las muestras fueron tomadas cada hora durante la primer descarga mayor de la tormenta.

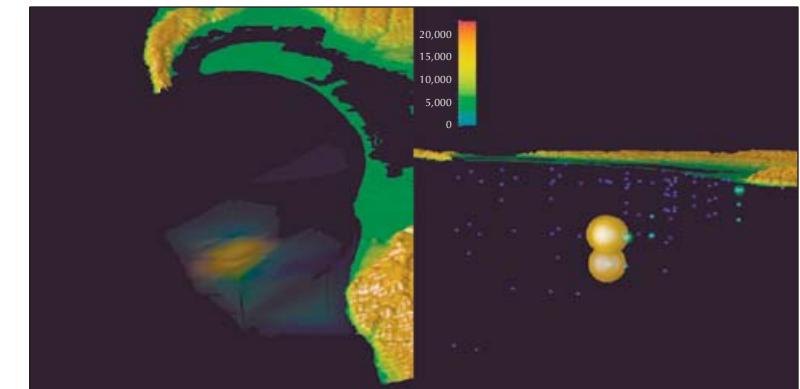
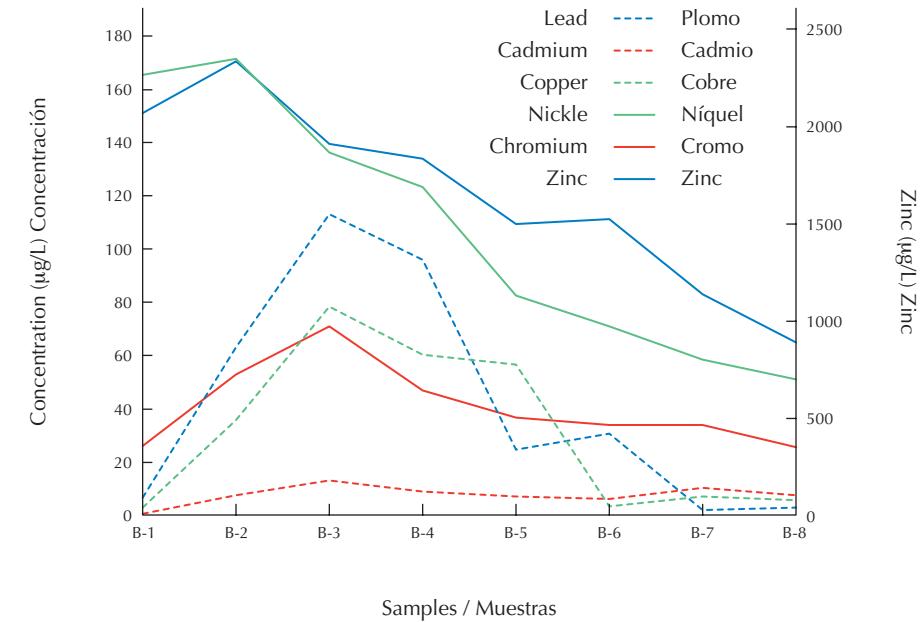


The lower Tijuana River flows through a semi-arid environment prone to long dry seasons and short intense wet seasons. These two images illustrate the differences in stream flow regimes in the lower section of the Tijuana River. The photograph above displays how an intense rain event can interact with urban infrastructure which can result in increased runoff and flood damage. The photo below shows the Tijuana River at moderate to low flow with development in the background.

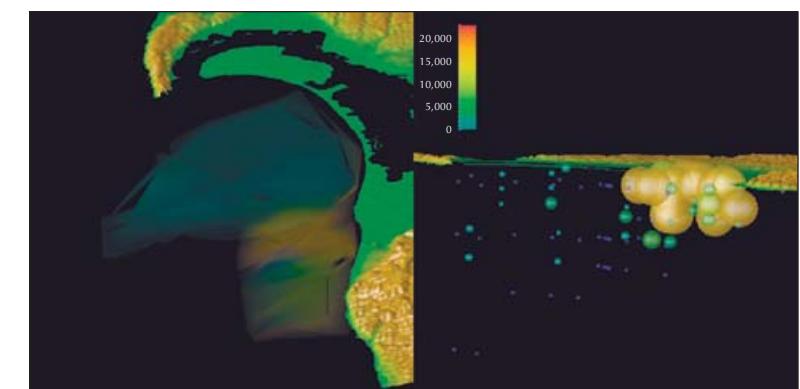
La parte inferior del Río Tijuana fluye a través de un ambiente semiárido propenso a largas temporadas secas y cortas e intensas temporadas de lluvia. Estas dos imágenes ilustran las diferencias en los regímenes de los flujos de corrientes en la sección inferior del Río Tijuana. La fotografía de arriba muestra cómo un episodio de lluvia intensa puede interactuar con la infraestructura urbana, lo que puede resultar en mayores daños por inundaciones y escorrentías. La foto de abajo muestra al Río Tijuana con flujos moderados a bajos con secciones desarrolladas al fondo.

Water Quality Metal and Bacterial Concentrations, 1995–1997

Calidad del Agua Concentraciones de Metales y Bacterias, 1995–1997



These two graphics depict total coliform concentrations in the marine nearshore environment. Each graphic has two parts, the left illustrating extent and quantity of the concentrations, the right showing quantity and depth of the concentration. The figure above (from October 3, 2000) is representative of how the South Bay wastewater treatment plant affects the nearshore waters. The coliforms remain below the surface and away from shore. The graphic below (January 14, 1997) is representative of how a storm event affects the environment. Coliforms gather at the surface and closer to shore, near the mouth of the Tijuana River.



Estas dos gráficas representan las concentraciones totales de coliforme en el ambiente marino costero. Cada gráfica tiene dos partes: la izquierda ilustra la extensión y cantidad de las concentraciones; la derecha muestra la cantidad e intensidad de la concentración. La figura de arriba (del 3 de octubre de 2000) es representativa de cómo la planta de tratamiento de aguas residuales de South Bay afecta las aguas cercanas a la costa. Los coliformes permanecen abajo de la superficie y alejados de la costa. La gráfica de abajo (14 de enero de 1997) es representativa de cómo una tormenta afecta el medio ambiente. Los coliformes se juntan en la superficie y más cerca de la costa, contiguos a la boca del Río Tijuana.



Air Quality

Ambient air quality is an important element in assessing the health of the Tijuana Basin. Pollutants in the atmosphere impact the human population, flora, and fauna in the watershed via direct inhalation of pollutants; deposition onto plants and soils; and absorption into streams, rivers, aquifers, and the nearshore marine environment. The major source of pollutants to the atmosphere within the Tijuana River Watershed originates from human activities taking place in the urbanized section of the lower basin, although some atmospheric pollutants may be transported into the basin area due to prevailing wind patterns.

Until recently, it had not been possible to assess air quality in the Tijuana region due to the lack of air monitoring stations throughout the Tijuana area. During the past several years, monitoring stations have been established in the Tijuana region to provide accurate information about its ambient air quality. These air monitoring stations have been installed and maintained through a cooperative program between SEMARNAT, the California Air Resources Board, and the U.S. EPA.

Both Mexico and the United States have established standards for the most serious and important air pollutants. These so-called priority pollutants are suspended particulate matter with a diameter less than 10 micrometers (PM10), volatile organic compounds (VOCs), carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NOx), sulfur dioxide (SO₂), lead, ozone, and air toxics. Toxic pollutants such as lead, mercury, and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are known to accumulate in soils and water following deposition from the atmosphere. Lead and PAHs result from combustion of fossil fuels and mercury from waste incineration activities that take place in the Tijuana region.

The principal air pollutants in the region are ozone and particulate matter. Ozone, the major component of smog, is formed by the chemical reaction of volatile organic compounds (VOCs) and oxides of nitrogen (NOx) in the presence of sunlight. San Diego has reduced its level of ozone so that it currently meets federal guidelines, but is still in violation of State of California standards. Tijuana does not yet meet Mexican ozone standards, although the number of days during the year that standards are violated is very low: only three days in 1997 and one in 1998. For particulate matter, Tijuana exceeded the Mexican standards 5.5% of the time in 1998.

Unpaved roads are the main sources of particulate matter pollution in the region, while the transportation sector is primarily responsible for emissions of NOx and VOCs. The energy sector also contributes about 10% of the NOx load in the basin, while industry contributes a similar percentage of VOCs.

Calidad del Aire

La calidad del aire ambiental es un elemento importante en la evaluación de la salud de la Cuenca de Tijuana. Los contaminantes atmosféricos impactan la población humana, la flora y la fauna en la cuenca mediante la inhalación directa de los contaminantes; el depósito de éstos en las plantas y suelos; y su absorción en los ríos, acuíferos y el ambiente marino costero. La fuente principal de contaminantes atmosféricos dentro de la cuenca se origina por las actividades humanas que se realizan en la sección urbanizada de la parte baja de la cuenca. No obstante, algunos contaminantes atmosféricos pueden ser transportados dentro del área de la cuenca debido a los patrones prevalecientes del viento.

Hasta hace poco, no había sido posible evaluar la calidad del aire en la región de Tijuana debido a la falta de estaciones de monitoreo atmosférico por toda el área de Tijuana. En los últimos años, se han establecido estaciones de monitoreo en la región de Tijuana que proporcionan información precisa de la calidad del aire. Estas estaciones de monitoreo atmosférico han sido instaladas y mantenidas mediante un programa de colaboración entre la SEMARNAT, el Consejo de Recursos Atmosféricos de California y la U.S. EPA.

Tanto México como los Estados Unidos han establecido normas para los contaminantes atmosféricos más graves e importantes. Estos llamados contaminantes prioritarios son: partículas suspendidas con un diámetro menor de los 10 micrómetros (PM10), compuestos orgánicos volátiles (COV), monóxido de carbono, (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de azufre (SO₂), plomo, ozono y tóxicos atmosféricos. Se sabe que los contaminantes tóxicos, como el plomo, el mercurio y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), son depositados desde la atmósfera y se acumulan en los suelos y en el agua. El plomo y los HAP resultan de la combustión del mercurio y de los combustibles fósiles de las actividades de incineración de residuos que se llevan a cabo en la región de Tijuana.

El ozono y la materia particulada son los principales contaminantes atmosféricos. El ozono, el componente primordial del *smog*, es formado por la reacción química de los COVs y del NOx en la presencia de la luz del sol. San Diego ha reducido su nivel de ozono y cumple actualmente con las normas federales, pero sigue en violación de las normas estatales. Tijuana aún no cumple con las normas mexicanas del ozono, aunque el número de días durante el año en que las normas son violadas es muy bajo: solamente tres días en 1997 y uno en 1998. En 1998, Tijuana excedió las normas mexicanas para la materia particulada el 5.5% del tiempo.

Las calles sin pavimento son las fuentes principales de contaminación de materia particulada en la región, mientras que el sector transporte es el responsable primordial de las emisiones de NOx y COVs. El sector energético también aporta alrededor del 10% de la carga de NOx en la cuenca, mientras que la industria aporta un porcentaje similar de COVs.

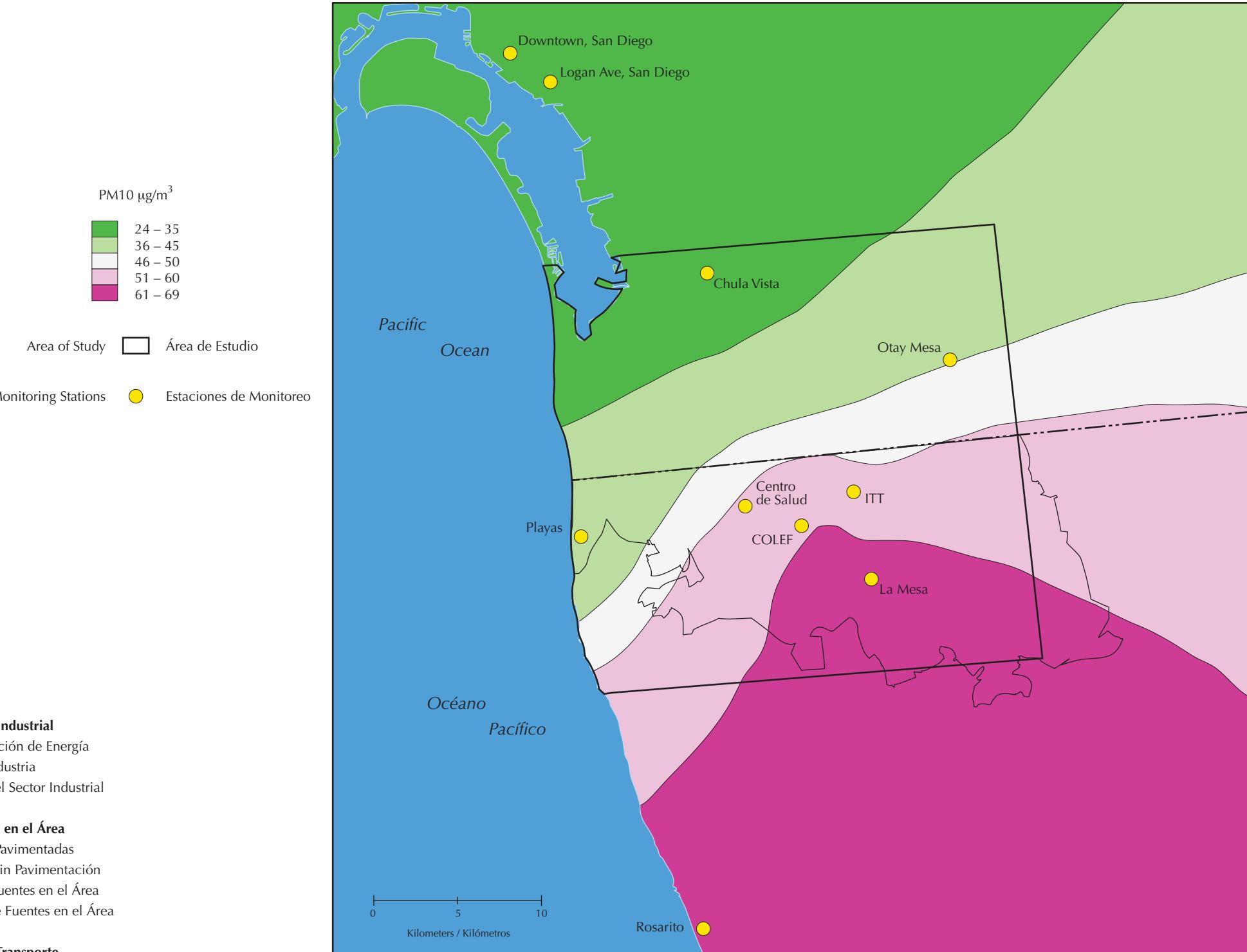


Sources of Air Pollution in Tijuana
Fuentes de Contaminación del Aire en Tijuana

Industrial Sector	PM10		NOx		VOC		Sector Industrial
	Tons / yr Toneladas / año	%	Tons / yr Toneladas / año	%	Tons / yr Toneladas / año	%	
Energy Generation	1,043	3.6	3,104	10.8	122	0.2	Generación de Energía
Other Industry	2,256	7.6	397	1.4	8,207	10.6	Otra Industria
Total Industrial Sector	3,299	11.2	3,501	12.2	8,329	10.7	Total del Sector Industrial
Area Sources							
Paved Roads	4,324	14.7	NA	NA	NA	NA	Calles Pavimentadas
Unpaved Roads	17,860	60.9	NA	NA	NA	NA	Calles sin Pavimentación
Other Area Sources	1,379	4.7	1,649	5.7	31,304	40.3	Otras Fuentes en el Área
Total Area Sources	23,563	80.3	1,649	5.7	31,304	40.3	Total de Fuentes en el Área
Transportation Sector							
Wind Erosion and Vegetation	1,214	4.1	23,501	81.6	36,908	47.5	Sector Transporte
Total	1,273	4.3	145	0.5	1,195	1.5	Erosión por Viento y Vegetación Total
	29,349	100.0	28,796	100.0	77,736	100.0	

Air Quality

Calidad del Aire



Mean Annual PM10 1996–1999 Media Anual de PM10

PM10 is liquid or solid particles in the air ranging in size from 0.01 microns to 10 microns. Studies have shown that a consequence of high PM10 levels is an increase in respiratory problems and overall mortality. The United States Environmental Protection Agency considers mean annual PM10 levels over $50\mu\text{g}/\text{cm}^3$ to be harmful, although lower levels may also have a negative effect on health. Air pollution is a phenomenon that varies spatially, but is measured at only 15 sites in the San Diego/Tijuana region. Therefore, interpolation is required in order to assess PM10 levels in the areas between stations. Kriging is one of many methods that allows pollution data collected at point locations to be represented as a continuous surface as shown above. In general, the interpolated (estimated) surface will be more accurate closer to the stations.

PM10 consiste de partículas líquidas o sólidas en el aire cuyo tamaño varía de 0.01 a 10 micras. Estudios han mostrado que una consecuencia de niveles altos de PM10 es un aumento en los problemas respiratorios y en la mortalidad en general. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos considera que los niveles medios anuales de PM10 que exceden $50\mu\text{g}/\text{cm}^3$ son dañinos, aunque niveles menores también pueden tener un efecto negativo en la salud. La contaminación del aire es un fenómeno que varía de manera espacial, pero que se mide en 15 lugares en la región de Tijuana y San Diego. Por lo tanto, se requiere la interpolación para poder evaluar los niveles de PM10 en las áreas entre las estaciones. El krigage (kriging) es uno de los numerosos métodos que permiten que los datos sobre la contaminación recolectados en los lugares fijos sean representados como una superficie continua, como se muestra arriba. En general, la superficie interpolada (estimada) será más acertada entre más cercana a las estaciones.

Flood Potential

Colonias, 2000

Many parts of the City of Tijuana are highly vulnerable to flooding as a consequence of four principal factors. First, the area has a precipitation regime that is characterized by occasional, but intense rainfall events. Second, the precipitation falls on terrain comprised of mesas that have been dissected by running water into a large number of steep sided narrow canyons. Third, urban growth and the loss of natural vegetation, particularly on steep hillsides, have resulted in large areas of highly impermeable surfaces. Fourth, the urban drainage system is inadequate to handle the runoff generated by intense storms.

Estimates of the flood potential for different *colonias* in Tijuana were determined by taking into account topography, precipitation, and zoning characteristics. The result is a map that shows the geographic distribution of two types of flood potential—flooding by overflow and flooding by standing water. Flooding by overflow occurs when prolonged or intense rain results in runoff that exceeds the capacity of the natural watercourse or built structure to convey water downstream. This results in flooding in adjacent areas. Nearly ninety *colonias* are impacted in some way by this type of flooding—flooding by overflow. It should be noted that the digital elevation model (DEM) used for the topographic input for the runoff model does not reflect the construction of certain flood control channels, for example, the channel in the Zona Río. The addition of this channel to the DEM would greatly affect the output of the runoff model in this area. Flooding by accumulation of standing water occurs during intense or prolonged rain in relatively flat areas where there is little opportunity for the water to drain off of the land quickly. The mesa tops and wide valley floors are especially vulnerable to flooding by accumulation. Portions or all of 90 *colonias* are subject to this type of flooding.

The risk of flooding is related to the amount of precipitation during and after a storm event, the impermeability of the surface on which the rain falls, and the adequacy of the storm water drainage system. Although the storm water conveyance system of the city has been expanded in recent years, particularly since the severe floods of the early 1990s, it is still incapable of handling the large volume of water generated during the intense storms common to this region.

Rafael Vela

Potencial de Inundaciones

Colonias, 2000

Muchas partes de la Ciudad de Tijuana son sumamente vulnerables a las inundaciones como consecuencia de cuatro factores principales. Primero, el área tiene un régimen de precipitación que se caracteriza por lluvias ocasionales, pero intensas. Segundo, la precipitación cae en terreno formado por mesetas que han sido divididas por corrientes de agua en un gran número de cañones estrechos de laderas empinadas. Tercero, el crecimiento urbano y la pérdida de la vegetación natural, sobre todo en los cerros empinados, han resultado en grandes zonas de superficies altamente impermeables. Cuarto, el sistema de desagüe urbano es inadecuado para tratar la escorrentía que generan las intensas tormentas.

Las estimaciones de posibles inundaciones para diferentes colonias de Tijuana fueron determinadas tomando en cuenta las características de topografía, precipitación y zonificación. El resultado es un mapa que muestra la distribución geográfica de dos tipos de posibles inundaciones—inundaciones y anegaciones. Las inundaciones ocurren cuando lluvias prolongadas o intensas resultan en escorrentías que exceden la capacidad de un canal natural o de una estructura construida para transportar las aguas hacia abajo. Esto resulta en inundaciones de las zonas adyacentes. Este tipo de inundaciones impacta de alguna manera a cerca de 90 colonias. Se hace hincapié en que el modelo digital de elevación (MDE) que se utilizó para los datos topográficos para el modelo de escorrentía no refleja la construcción de ciertos canales de control de inundaciones, por ejemplo, el canal de la Zona Río. La incorporación de este canal al MDE afectaría de gran manera el producto del modelo de escorrentía en el área. La anegación ocurre durante lluvias intensas o prolongadas en áreas relativamente planas donde existe poca oportunidad para que el agua se drene con rapidez. Las superficies de las mesetas y los anchos suelos de los valles son particularmente vulnerables a las anegaciones. Parte de o todas las 90 colonias están sujetas a este tipo de inundación.

El riesgo de las inundaciones está relacionado con la cantidad de precipitación durante y después de una tormenta, la impermeabilidad de la superficie en donde cae la lluvia y la capacidad del sistema de drenaje pluvial. No obstante que el sistema pluvial de la ciudad ha sido ampliado en años recientes, particularmente desde las severas inundaciones a principios de la década de 1990, todavía no tiene la capacidad para manejar el gran volumen de agua generada durante las intensas tormentas que son comunes en esta región.

Flood Potential Colonias, 2000

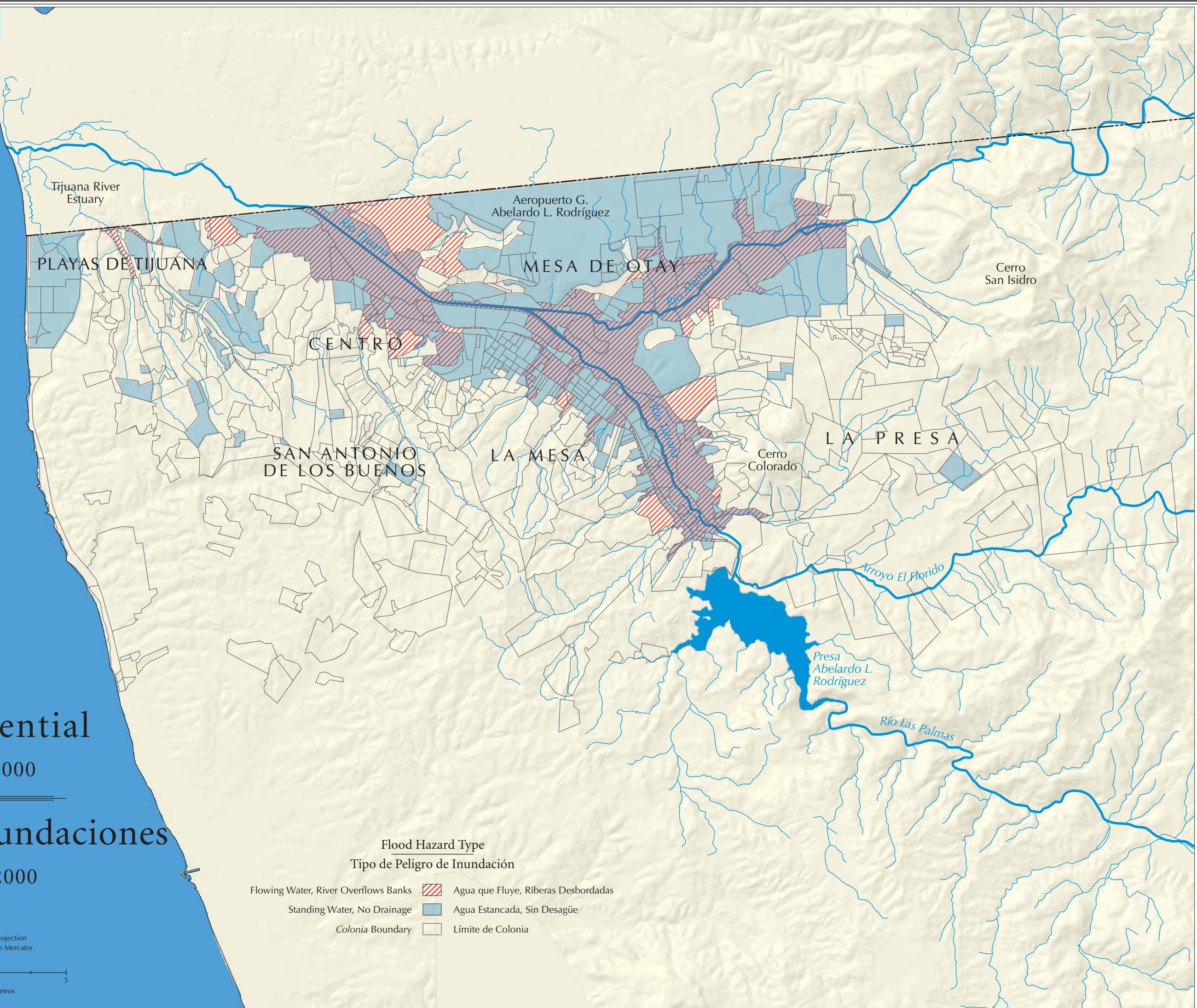
Potencial de Inundaciones Colonias, 2000

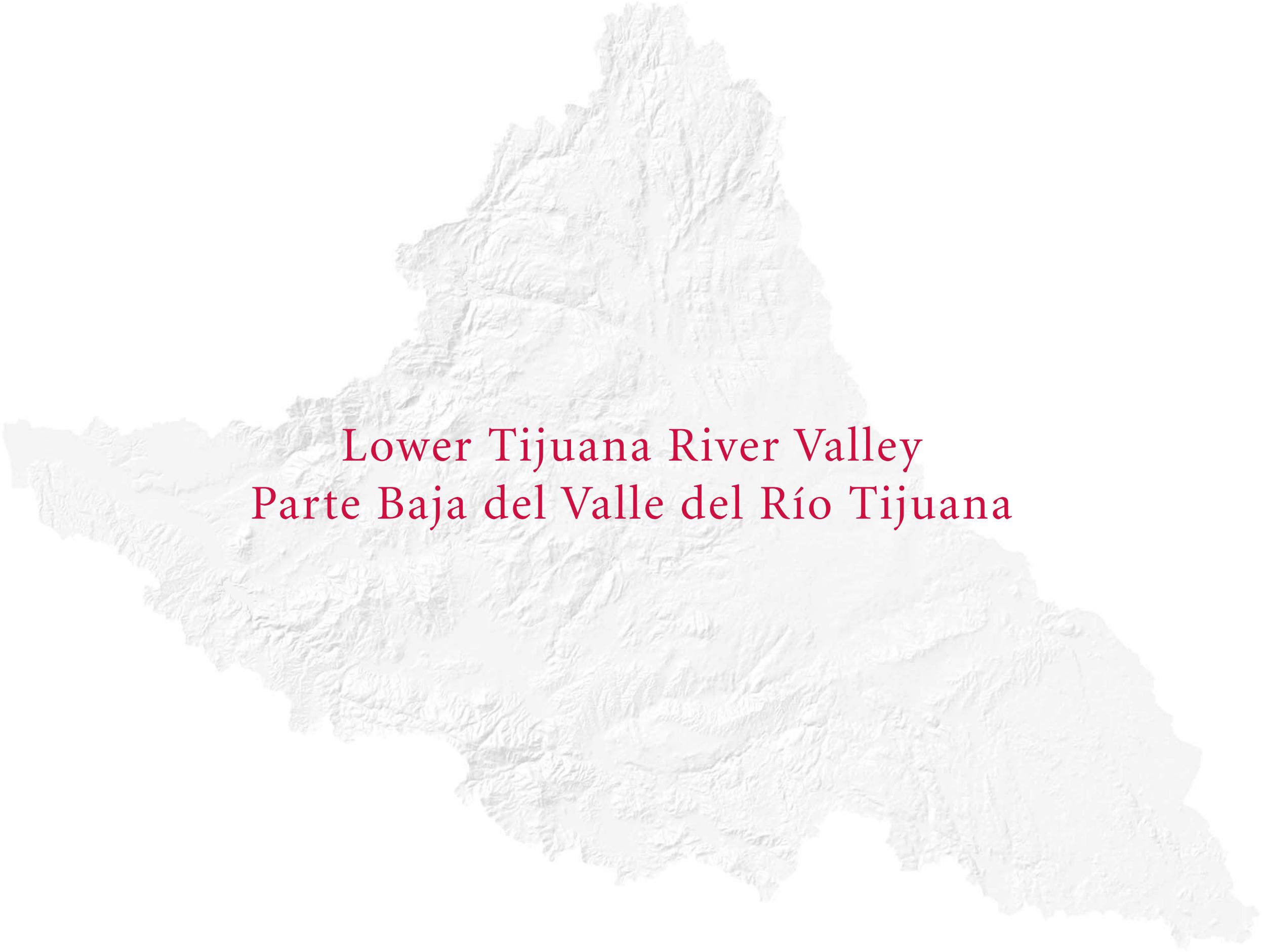


Transverse Mercator Projection
Proyección Transversa de Mercator

0 Kilometers / Kilómetros

Flood Hazard Type Tipo de Peligro de Inundación	
Flowing Water, River Overflows Banks	Agua que Fluye, Riberas Desbordadas
Standing Water, No Drainage	Agua Estancada, Sin Desagüe
Colonia Boundary	Límite de Colonia





Lower Tijuana River Valley
Parte Baja del Valle del Río Tijuana

Tijuana River Estuary

Tijuana River National Estuarine Research Reserve

At the confluence of the Tijuana River and the Pacific Ocean in the southwesternmost corner of the conterminous United States, lies one of the last remaining large tidal wetlands on the west coast—the Tijuana River Estuary or, officially, the Tijuana River National Estuarine Research Reserve (Photo 1). This is the largest intact coastal wetland in San Diego County. As the endpoint of the 1,750-square mile (4,532-km²) binational Tijuana River Watershed, the 2,500-acre (1,012-hectare) reserve is home to diverse flora and fauna that are highly vulnerable to human activities on both sides of the international border. Managed by federal, state, and local agencies, along with active participation of non-governmental organizations, challenges abound to create a seamless reserve where the interests of very different stakeholders can be maximized. The north end of the reserve lies in the small coastal community of Imperial Beach where a visitor center stands as a gateway to the estuary (Photos 1, 2, and 3). In the south end of the reserve, at Border Field State Park, stands an obelisk-shaped boundary monument (Photo 4). This monument marks the division between two nations as established in the 1848 Treaty of Guadalupe Hidalgo that ended the Mexican-American War. Between that point and Imperial Beach lies a relatively unknown open space, the last remaining Southern California coastal estuary not traversed by roads or development.

Climate, location, and topography allow for a variety of habitats within the reserve. On the coast, the Mediterranean climate of the region promotes vegetation types from desert scrub and chaparral to lush riparian and wetlands. At the beaches, just north and south of the Tijuana River mouth, one of the few remaining dune systems in Southern California supports some

of the last populations of the coast horned lizard (Photos 5 and 6). The adjoining salt marsh, with open water areas and sinewy slough



1 Entrance to the Tijuana Estuary Entrada al Estuario del Río Tijuana



2 Visitor's Center Centro de Visitantes



3 Sand dunes Dunas



4 Coast horned lizard Lagartija cornuda de litoral

Phillip Roullard

Estuario del Río Tijuana

Reserva Nacional de Investigación del Estuario del Río Tijuana

En la confluencia del Río Tijuana y el Océano Pacífico, en el punto más al suroeste del límite de los Estados Unidos, yace uno de los últimos grandes humedales de mareas que quedan en la costa occidental. El Estuario del Río Tijuana u, oficialmente, la Reserva Nacional de Investigación del Estuario del Río Tijuana, es el humedal costero intacto más grande del Condado de San Diego (Foto 1). Como el punto final de la cuenca binacional del Río Tijuana de 4,532 kilómetros cuadrados, la reserva de 1,012 hectáreas es el hogar

de diversa flora y fauna que son sumamente vulnerables a las actividades humanas en ambos lados de la frontera internacional. Administrada por agencias federales, estatales y locales, junto con la participación activa de organizaciones no gubernamentales, abundan los retos para crear una reserva sin divisiones donde los intereses de grupos muy diferentes puedan ser maximizados. El extremo norte de la reserva se encuentra en la pequeña comunidad costera de Imperial Beach, donde un centro de información es la puerta hacia el estuario (Fotos 1, 2 y 3). En el extremo sur de la reserva, en el parque estatal Border Field, se encuentra un monumento fronterizo en forma de obelisco (Foto 4). Este monumento marca la división entre ambas naciones, como lo establece el Tratado de Guadalupe Hidalgo de 1848 que concluyó la guerra entre los Estados Unidos y México. Entre ese punto e Imperial Beach yace un espacio abierto

relativamente desconocido y el último estuario que queda en la costa del Sur de California que no ha sido atravesado por carreteras o el desarrollo.

El clima, la ubicación y la topografía permiten una variedad de hábitats dentro de la reserva. En la costa, el clima mediterráneo de la región fomenta tipos de vegetación desde el matorral desértico y el chaparral hasta la riparia exuberante y humedales. En las playas, justo al norte y sur de la boca del Río Tijuana, uno de los pocos sistemas



5 Estuary with Imperial Beach in the background Estuario con Imperial Beach al fondo

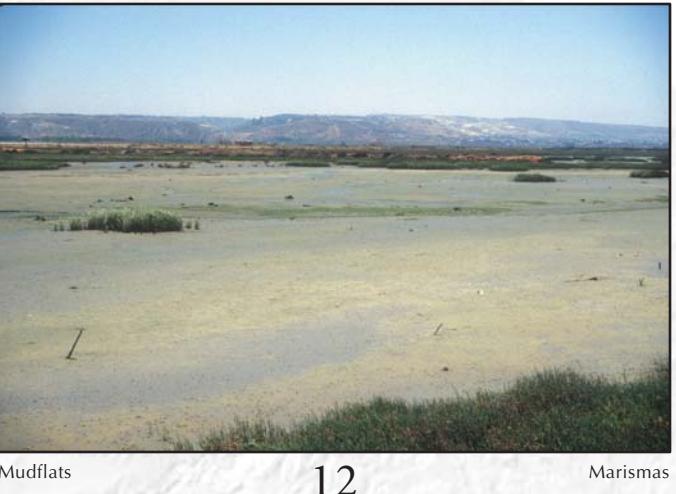
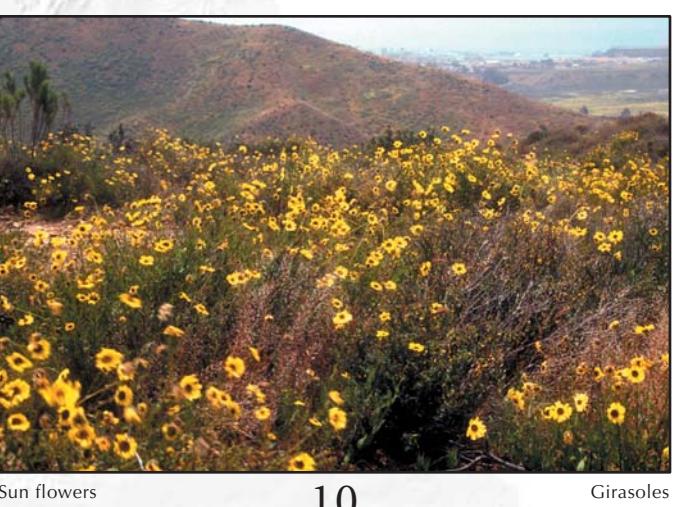
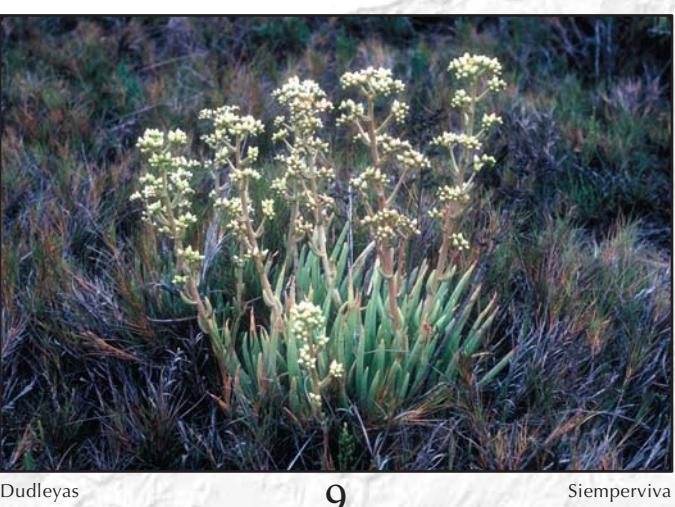


6 International boundary monument. Monumento Fronterizo Internacional

channels, is home to stands of cordgrass and mats of pickleweed (Photo 7). Salt marsh bird's beak, an endangered plant, is found in upper tidal marshes (Photo 8). As the river winds through the valley upstream, cottonwoods and willows thrive in this riparian habitat. A mixture of subshrubs, cactus, dudleyas (Photo 9), and wildflowers, known as maritime succulent scrub, cover the hills of the international border region. Documented as rare, several species, such as Orcutt's dudleya and Shaw's agave, have been recorded on these highlands. Moving inland, California sagebrush and bush sunflower (Photo 10) dominate the coastal sage scrub community with their ability to adapt to dry conditions. This range of habitat types supports an even greater assortment of wildlife, from dune tiger beetles (Photo 11) and smooth-hound sharks to golden eagles and bobcats. Thriving, imperiled, and endangered species are all finding refuge in this protected, but threatened, area.

As a stopping point along the Pacific Flyway, the Tijuana River Estuary is home to over 370 bird species, many of which migrate through, or winter over, in the calm and shallow confines of the estuary. Here, the warm waters and expanses of mudflats provide abundant sources of food and a place for refuge (Photo 12). The mudflats teem with feathered wildlife between October and March. Enthusiastic bird watchers flock to the wetlands for a chance to spot a Pacific golden plover or a reddish egret (Photo 13). Spring and summer mark the seasons when nesting California least terns (Photo 14) and western snowy plovers inhabit the beach. These and other threatened and endangered birds depend on the flat sandy areas for nesting and the adjacent salt marsh and ocean for foraging in order to gain weight for the upcoming breeding season (Photo 15). Year-round, one may be able to catch a glimpse of the light-footed clapper rail

(continues on Plate 32)



de dunas que quedan en el Sur de California mantiene unas de las últimas poblaciones de la lagartija cornuda de litoral (Fotos 5 y 6). La marisma colindante, con áreas abiertas de agua y canales de fango, es hogar de montes de yerba cordón y de tapetes de barrillas (Foto 7). El pico de ave de la marisma, una planta en peligro de extinción, se encuentra en las marismas superiores de marea (Foto 8). Conforme el río serpentea aguas arriba por el valle, los álamos y sauces crecen muy bien en este hábitat ripario. Una mezcla de subarbustos, cactus, siemprevivas (Foto 9) y flores silvestres, conocida como matorral marítimo suculento, cubre los cerros de la región fronteriza internacional. En estas tierras elevadas, se han documentado varias especies como raras, tales como la siempreviva Orcutt y el maguey primavera. Hacia el interior, la artemisa de California y los arbustos de girasoles (Foto 10) dominan la comunidad de los matorrales de salvia costeros con su habilidad de adaptarse a las condiciones secas. Esta variedad de tipos de hábitats mantiene una diversidad aún mayor de vida silvestre, desde los escarabajos tigre de dunas (Foto 11) y tiburones musola hasta las águilas reales y linces. Las especies que prosperan, las que están en riesgo y las que están en peligro de extinción, todas encuentran refugio en esta área protegida, pero amenazada.

Como una parada de descanso a lo largo de la ruta de vuelo migratorio del Pacífico, el Estuario del Río Tijuana es el hábitat de más de 370 especies de aves. Muchas de éstas pasan por el estuario en su ruta migratoria o inviernan en los confines tranquilos y poco profundos del estuario. Aquí, las aguas templadas y las extensiones de marismas proporcionan fuentes abundantes de alimento y un lugar de refugio (Foto 12). Las marismas tienen abundancia de vida silvestre emplumada entre

(continúa en la Ilustración 32)

(Photo 16). With just a few hundred rails left in the wild, this shy, resident endangered species requires for its habitat stands of cordgrass that are present in the Tijuana River Estuary.

Unfortunately, the reserve is also confronted by difficult management issues. The area's semi-arid climate is accompanied by naturally friable soils that do not hold up well under human use. However, in this section of the booming California-Mexico border, soil disturbance ranks among the worst to be found anywhere (Photo 17). All but the lightest rains bring a cycle of erosion and sedimentation to the lower watershed, altering wetland habitat. Moderate rains bring massive flows of mud and trash to vulnerable areas of the reserve (Photos 18 and 19).

Exotic invasive vegetation takes advantage of the moderate climate to propagate unchecked, displacing the native plant communities required by native wildlife (Photo 20). Development abutting the reserve boundaries does not allow for a buffer between wildlife and human habitat. The demand for active recreation within endangered species habitat during prime nesting season of some avian species presents conflicts between resource managers and some user groups (Photo 21). The contradiction presented by this not well-known resource—so vulnerable to sudden devastation and ruin—gave rise to the Tijuana River Estuary restoration effort. For over three decades, research and monitoring programs within the reserve have been ongoing (Photo 22). These have produced excellent data and information as a base for successful restoration. So far, over 20 acres (8 hectares) of salt marsh habitat have been restored within the reserve, providing wildlife with much needed wetland habitat (Photo 23). Along with restoration, attention is also given to

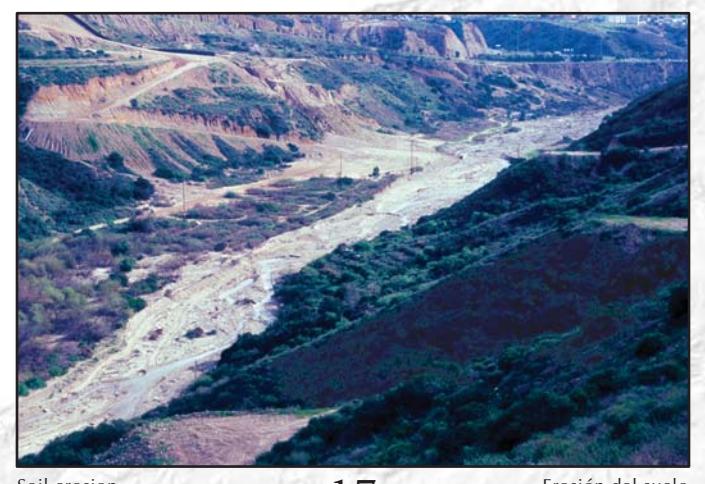
an education program, with children as a primary focus



Snowy Egrets

15

Garceta pie-dorado



Soil erosion

17

Erosión del suelo



Runoff debris

19

Escurreimiento de detritos



Horse rider at Border Field

21

Jinete en Border Field



Clapper Rail

16

Rascón picudo



Flooded entry to Border Field

18

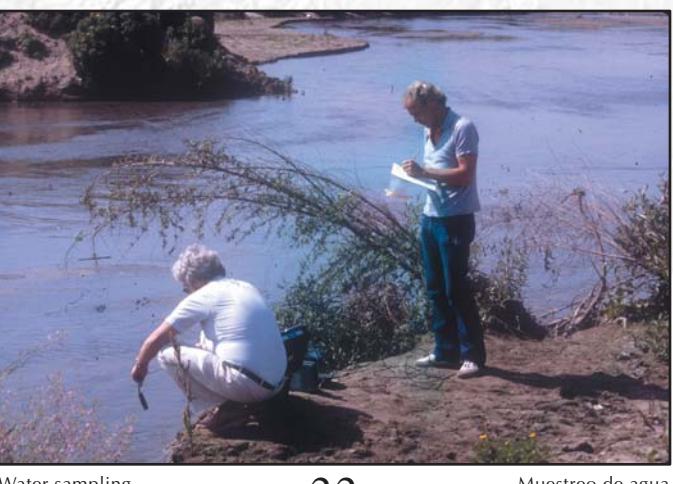
Entrada inundada al parque Border Field



Arundo

20

Carrizo



Water sampling

22

Muestreo de agua

octubre y marzo. Los entusiastas observadores de aves van en multitudes a los humedales por la oportunidad de ver un chorlo fulvo o una garceta rojiza (Foto 13). La primavera y el verano marcan las temporadas cuando los charranes mínimos californianos (Foto 14) y los chorlos nevados del occidente que se encuentran en anidación habitan la playa. Estas y otras aves amenazadas y en peligro de extinción dependen de las áreas arenosas planas para anidar y de las marismas y océano adyacentes para buscar alimento y poder aumentar de peso para la próxima época de reproducción (Foto 15). Durante todo el año, es posible vislumbrar al rascón picudo (Foto 16). Solo unos cuantos cientos de rascones quedan en su entorno natural. Esta especie tímida residente, en peligro de extinción, requiere para su hábitat yerba cordón que existe en el Estuario del Río Tijuana.

Lamentablemente, la reserva también enfrenta dificultades en su administración. El clima semiárido del área está acompañado por suelos naturalmente frágiles que no soportan bien el uso humano. No obstante, en esta sección de la frontera en auge entre California y México, la alteración del suelo está clasificada entre las peores que se puedan encontrar en cualquier parte (Foto 17). Toda precipitación, con excepción de las lluvias muy ligeras, genera un ciclo de erosión y sedimentación en la parte baja de la cuenca, alterando el hábitat de humedales. Las lluvias moderadas traen flujos masivos de lodos y basura a las áreas vulnerables de la reserva (Fotos 18 y 19). La vegetación exótica invasiva aprovecha el clima moderado para propagarse libremente, desplazando las comunidades de plantas endémicas que la vida silvestre nativa requiere (Foto 20). El desarrollo que colinda con los límites de la reserva no permite una zona intermedia entre la vida silvestre y el hábitat humano.

(Photo 24). Hands-on activities for young people and community members about the ecological role of wetlands and the many species within this ecosystem make learning enjoyable. Education also targets decision makers. Armed with current and accurate information about coastal resource issues, they can make informed decisions regarding watershed management.

The Tijuana River Estuary is a unique and special place. Impacted from both sides of an international border, it straddles an area where two cultures meet. This proximity calls for binational collaboration in order to care for the needs of people, plants, and animals (Photos 25, 26 and 27). As the watershed spans the border, so must the partnerships. The vision here is great—to preserve what little is left, to restore what was lost, and to share the knowledge gained from management actions to protect this fragile ecosystem.

Photos 1–24 by Phillip Roulland.

Photos 25–27 by Paul Ganster.



23

Marisma modelo



25

Reuniones binacionales de personas interesadas



27

Reuniones binacionales de personas interesadas



24

Grupo escolar



26

Reuniones binacionales de personas interesadas

La demanda de recreación activa dentro del hábitat de especies en peligro de extinción, durante la temporada principal de anidación de algunas especies de aves, presenta conflictos entre los administradores de los recursos y algunos grupos usuarios (Foto 21). La contradicción que presenta este recurso no tan conocido—tan vulnerable a la repentina devastación y ruina—ha ocasionado un esfuerzo por restaurar el Estuario del Río Tijuana. Programas de investigación y monitoreo dentro de la reserva han sido constantes por más de tres décadas (Foto 22). Éstos han generado excelentes datos e información como base para una restauración exitosa. Hasta ahora, más de ocho hectáreas de hábitat de marismas han sido restaurados dentro de la reserva, proporcionando a la vida silvestre un muy necesario hábitat de humedales (Foto 23). Junto con la restauración, también se ha dado atención a un programa educativo dirigido principalmente a los niños (Foto 24). El aprendizaje se hace ameno para jóvenes y miembros de la comunidad mediante

actividades prácticas sobre la función ecológica de los humedales y las numerosas especies dentro de este ecosistema. La educación también está dirigida a las personas responsables de tomar decisiones. Provistos con información actual y correcta acerca de temas sobre recursos costeros, estas personas pueden tomar decisiones fundamentadas con respecto al manejo de la cuenca.

El Estuario del Río Tijuana es un lugar singular y especial. Impactado desde ambos lados de la frontera internacional, el estuario yace en un área donde dos culturas se encuentran. Esta proximidad requiere de una colaboración binacional para poder tener cuidado de las necesidades de la gente, de las plantas y de los animales (Fotos 25, 26 y 27). Conforme la cuenca se extiende por la frontera, igual deben hacer las asociaciones. La visión aquí es grande: conservar lo poco que queda, restaurar lo que se ha perdido y compartir el conocimiento adquirido de las acciones administrativas para proteger este frágil ecosistema.

Fotos 1–24 por Phillip Roulland.

Fotos 25–27 por Paul Ganster.

The lower Tijuana River Valley lies between the United States-Mexican border and the urban areas of San Diego and Imperial Beach to the north. The Pacific Ocean lies to the west and to the east is the community of San Ysidro, California, the location of the busiest port of entry on the United States-Mexican border. Approximately 5,200 acres (2,104 hectares) in size, the valley is comprised of a number of physical features. These include a short section of concrete channel that contains the Tijuana River as it crosses the international border from Mexico, natural and managed stream channels, a system of wetlands in the Tijuana River Estuary, and a variety of water treatment, flood control, and sediment control facilities. This section of the watershed is becoming increasingly public in ownership (See Land Ownership). Approximately 85% of the acreage is given to local, state, and federal land uses, including the Tijuana River National Estuarine Research Reserve, the Imperial Beach Naval Air Station, Border Field State Park, the County of San Diego Regional Park, and the facilities of the International Wastewater Treatment Plant and the South Bay Water Reclamation Plant. Agriculture and residential land uses comprise the majority of the private acreage. While many problems exist in the valley, the impacts of flooding, renegade sewage flows, and the fence and roads constructed by U.S. authorities along the border are overriding issues that help define the character of the valley.

Flooding. The watershed is capable of producing very large floods in the Tijuana River. Stream flow is partially controlled by dams. Rodríguez Dam, southeast of Tijuana, controls runoff from the Río Las Palmas stream network; Barrett and Morena dams in the United States divert part of the runoff from the Cottonwood Creek/Río Alamar drainage to the adjacent Otay River Watershed (See Hydrography map in the Physical Characteristics section). Runoff from the Tecate Creek-Campo Creek watershed is uncontrolled by dams as it makes its way to its confluence with Cottonwood Creek. Large floods in excess of 10,000 cubic feet per second (cfs) ($283 \text{ m}^3/\text{s}$) occurred in the valley in 1980, 1983, 1993, and 1995. These events also coincided with overflow of water stored behind Rodríguez Dam. The 1993 flood was so powerful (32,000 cfs; $906 \text{ m}^3/\text{s}$) that it actually rerouted the channel, moving it several hundred feet to the north. The channel was subsequently restored to its former location. As a result of the flood threat to the City of Tijuana, the Mexican government financed construction of a large concrete flood channel on the Tijuana River through the center of the city. The first phase of the channel, which allowed the development of the Zona Río and other areas of downtown Tijuana, was completed in the late 1970s. In order to convey floodwaters that cross the border in this channel to the ocean, a spreading basin, or “dissipater channel” was built on the U.S. side of the border in the early 1980s. This dissipater channel terminates at Dairy Mart Road. West of the road, the natural floodplain is used to convey runoff to the Pacific

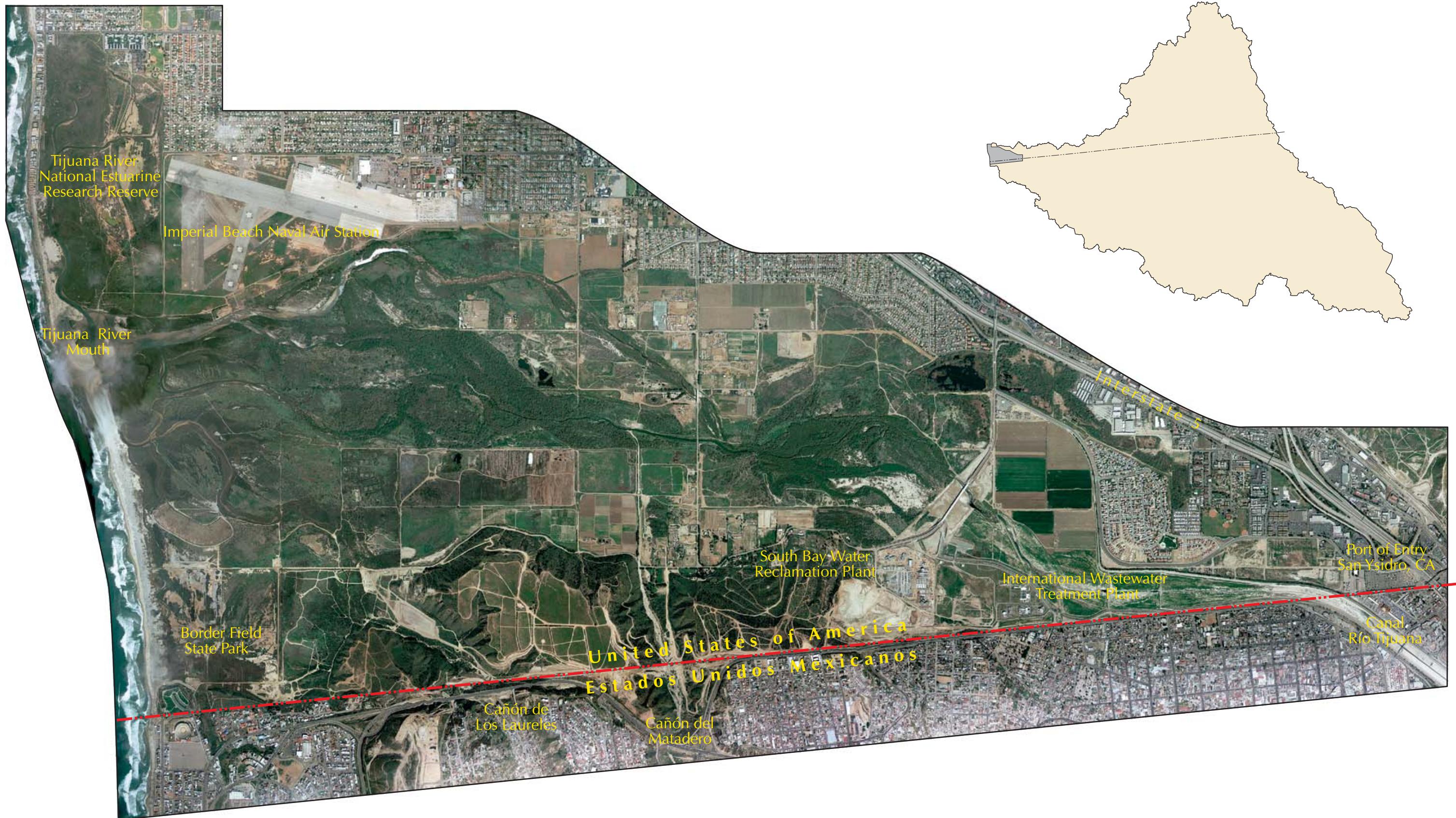
Ocean. In the United States, the current best practice is to retain the

(continues on Plate 34)

Parte Baja del Valle del Río Tijuana

La parte baja del Valle del Río Tijuana yace entre la frontera de los Estados Unidos y México y las zonas urbanas de San Diego e Imperial Beach hacia el norte. El Océano Pacífico se encuentra al oeste y la comunidad de San Ysidro, California, hacia el este. Esta comunidad es el lugar del puerto de entrada más activo de la frontera de los Estados Unidos y México. Con un tamaño aproximado de 2,104 hectáreas, el valle está compuesto por varias características físicas. Éstas incluyen una sección corta de un canal de concreto que contiene al Río Tijuana que cruza la frontera internacional desde México; canales de corrientes naturales y controladas; un sistema de humedales en el Estuario del Río Tijuana; y una variedad de instalaciones para el tratamiento del agua, el control de inundaciones y el control de sedimentos. Esta sección de la cuenca es cada vez más de uso público con respecto a su tenencia (véase Tenencia de la Tierra). Aproximadamente el 85% de estas hectáreas es para usos del suelo locales, estatales y federales, e incluyen la Reserva Nacional de Investigación del Estuario del Río Tijuana, la Estación Aérea Naval de Imperial Beach, el Parque Estatal Border Field, el Parque Regional del Condado de San Diego y las instalaciones de la Planta Internacional de Tratamiento de Aguas Residuales y la Planta Tratadora para Reuso del Agua de South Bay. La mayoría de los acres privados consiste de usos agrícolas y residenciales. Aunque existen muchos problemas en el valle, los impactos de las inundaciones, las corrientes de aguas negras y el cerco y las carreteras construidas por autoridades de los Estados Unidos a lo largo de la frontera son asuntos primordiales que ayudan a definir el carácter del valle.

Inundaciones. La cuenca es capaz de producir inundaciones de grandes proporciones en el Río Tijuana. Las presas controlan parcialmente el flujo de las corrientes. La Presa Rodríguez, al sureste de Tijuana, controla la escorrentía de las redes de corrientes del Río Las Palmas; las presas Barrett y Morena en los Estados Unidos desvían parte de la escorrentía del desagüe de Cottonwood Creek/Río Alamar contiguo a la Cuenca del Río Otay (ver mapa hidrográfico en la sección de Características Físicas). Las presas no controlan la escorrentía de la Cuenca del Arroyo Tecate-Campo Creek en su confluencia con el Cottonwood Creek. En 1980, 1983, 1993 y 1995, el valle tuvo grandes inundaciones que excedieron los 283 metros cúbicos por segundo (m^3/s). Estos sucesos también coincidieron con el desborde de la Presa Rodríguez. La inundación de 1993 fue tan potente ($906 \text{ m}^3/\text{s}$) que incluso desvió el canal varios cientos de pies hacia el norte. El canal fue restaurado subsecuentemente en su ubicación previa. Como resultado de la amenaza de inundación a la Ciudad de Tijuana, el gobierno mexicano financió la construcción de un canal de concreto para el desagüe de crecidas en el Río Tijuana que atravesaría el centro de la ciudad. La primera etapa de dicho canal, el cual permitió el desarrollo de la Zona Río y otras áreas del centro de Tijuana, fue terminada a fines de la década de 1970. Para poder transportar las aguas de las inundaciones que cruzan la frontera en este canal hacia el océano, se construyó a principios de la década



Lower Tijuana River Valley

Parte Baja del Valle del Río Tijuana

floodplain in a quasi-natural state, thus avoiding intense urbanization that would require a concrete channel or other structural flood protection to be built. To this end, the County of San Diego and the State of California have acquired land and established open space parks in the lower valley. However, there are homes in the floodplain that remain in danger of partial inundation in the event of a large flood.

Water Pollution. During the early 1900s, the Tijuana River Valley was a fertile and productive agricultural area. Later, as the small settlement of Tijuana grew, water pollution became more evident. Tijuana installed collection pipes and a septic tank to treat sewage from the downtown area. Sewage flowed by gravity into this tank, then emptied north toward the lower valley. By the mid-1930s, the flow of septic tank effluent into the valley contaminated groundwater supplies and necessitated a quarantine on the sale of crops. The U.S. federal government stepped in to decrease pollution by constructing the International Outfall in 1938. This outfall was designed to remove raw sewage flows from the valley and discharge them into the Pacific Ocean two miles (3.2 km) south of Imperial Beach. However, even with the outfall in place, pollution continued as Tijuana's sewage discharge into the valley increased to almost four million gallons per day (MGD) ($15,140 \text{ m}^3/\text{d}$). In 1961, Tijuana constructed a new collection and conveyance system to dispose of sewage into the ocean south of the international border. The new system worked well for the first few years until it began to experience repeated failures and maintenance problems. Again, raw sewage flowed into the valley, causing pollution. The City of San Diego constructed an emergency pipe to capture overflows for processing by the Point Loma treatment plant, but the quantity of sewage became too great to be handled with one pipe. By 1985, 15–20 MGD ($56,780\text{--}75,710 \text{ m}^3/\text{d}$) of raw sewage formed a perennial river and large quantities of trash and debris littered the terrain. In 1987, an enhanced and improved sewage system was installed in Tijuana. This included a new pump station, a concrete conveyance canal, and a new 25-MGD ($94,640 \text{ m}^3/\text{d}$) treatment plant located near the coast, some eight kilometers (five miles) south of the international boundary at Punta Bandera. When problems continued into the 1990s, a 25-MGD advanced primary treatment plant just north of the border was approved for construction. This facility, known as the International Wastewater Treatment Plant, began operating in 1997, with the understanding that secondary treatment facilities would be constructed in a subsequent phase. An agreement was signed in 2004 affirming the requirement of the National Permit Discharge Elimination System that secondary treatment must be provided.

Goat Canyon-Cañón de Los Laureles. Los Laureles Canyon is a small, five-square mile (13 km^2), side canyon of the Tijuana River Watershed. The canyon is located only about one to two miles (1.6–3.2 km) from the coast, and 90% of it lies in Mexico. This small basin is of particular interest and concern because it flows directly into the Tijuana River National Estuarine Research Reserve (TRNERR) and is a significant source of sediment and trash in the southern section of the estuary. Over time, this side canyon has become increasingly

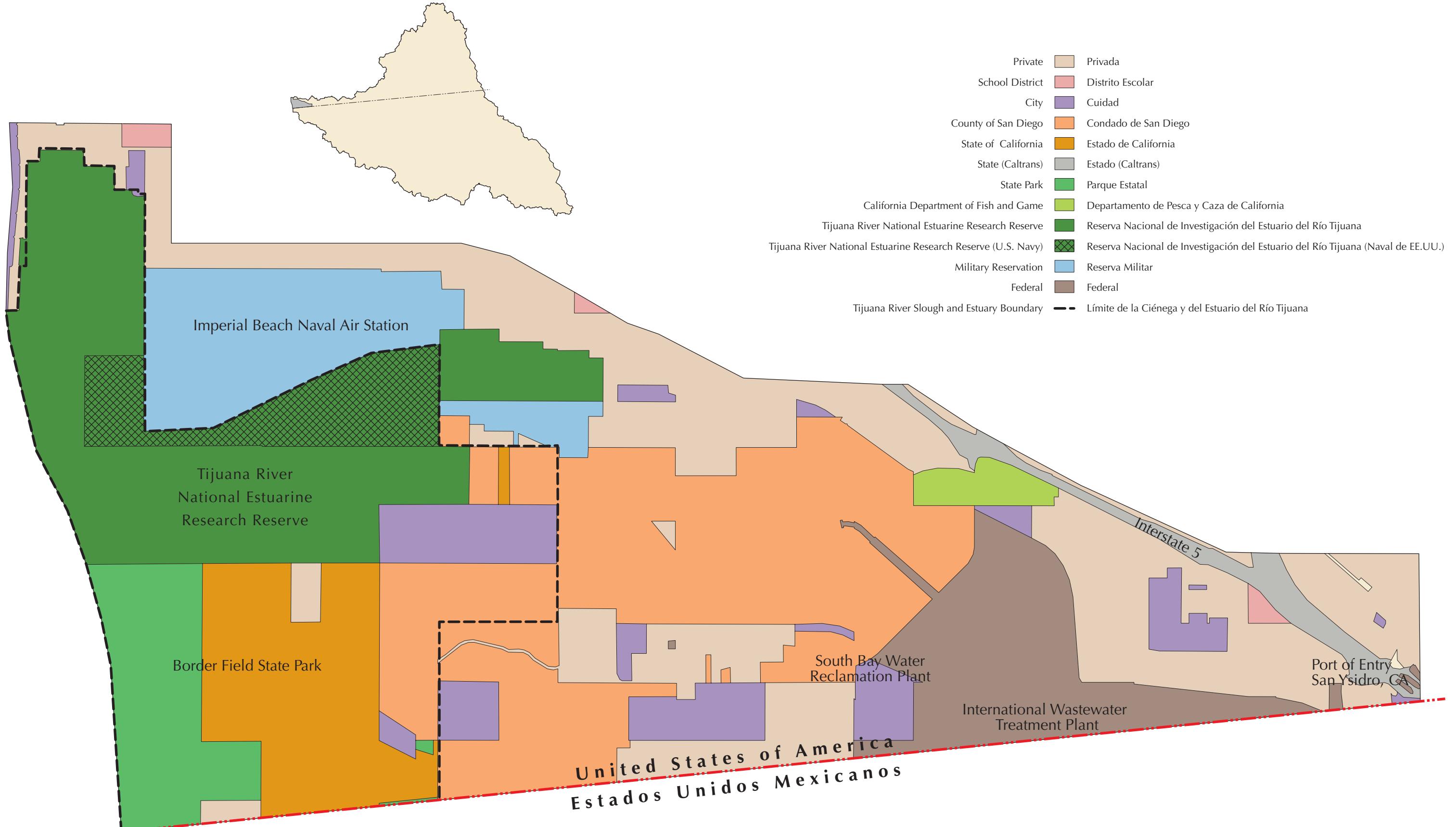
urbanized, although it lacks the basic urban infrastructure to support

(continues on Plate 35)

de 1980 una base de extensión o “canal disipador” en el lado estadounidense de la frontera. Este canal disipador termina en la Calle Dairy Mart. Al oeste de la carretera, la planicie de inundación natural se utiliza para transportar la escorrentía hacia el Océano Pacífico. En los Estados Unidos, la mejor práctica actual es mantener la planicie de inundación en un estado casi natural, evitando así la urbanización intensa que requeriría la construcción de un canal de concreto u otra protección estructural contra las inundaciones. Con este fin, el Condado de San Diego y el Estado de California han adquirido tierras y establecido parques de espacios abiertos en la parte baja del valle. Sin embargo, existen casas en la planicie de inundaciones que siguen en peligro de ser inundadas parcialmente en caso de una gran inundación.

Contaminación del Agua. Durante los primeros años del siglo XX, el Valle del Río Tijuana era un área agrícola fértil y productiva. Después, conforme crecía el pequeño poblado de Tijuana, la contaminación del agua se hacía más evidente. Tijuana instaló tuberías de recolección y una fosa séptica para tratar las aguas residuales desde el área del centro. Las aguas residuales fluían por gravedad dentro de esta fosa y luego se vaciaban al norte hacia la parte baja del valle. Para mediados de la década de 1930, el flujo de los efluentes de la fosa séptica hacia el valle contaminó las fuentes de aguas subterráneas y se requirió una cuarentena en la venta de las cosechas. El gobierno de los Estados Unidos intervino para disminuir la contaminación construyendo la desembocadura internacional en 1938. Esta desembocadura fue diseñada para eliminar los flujos de las aguas negras del valle y descargarlos en el Océano Pacífico 3.2 kilómetros al sur de Imperial Beach. No obstante, aún con la desembocadura instalada, la contaminación continuó, conforme aumentaba la descarga de las aguas negras de Tijuana en el valle a casi $15,140$ metros cúbicos por día (m^3/d). En 1961, Tijuana construyó un sistema nuevo de colección y transporte para la disposición de las aguas residuales en el océano, al sur de la frontera internacional. El sistema nuevo funcionó bien los primeros años hasta que comenzó a tener fallas frecuentes y problemas de mantenimiento. De nuevo, las aguas negras fluyeron dentro del valle, causando contaminación. La Ciudad de San Diego construyó una tubería de emergencia para capturar los derrames y que fueran procesados en la planta de tratamiento de Point Loma, pero la cantidad de las aguas negras fue demasiado grande para que un solo tubo las capturara. Para 1985, entre $56,780$ y $75,710 \text{ m}^3/\text{d}$ de aguas negras formaron un río perenne, arrojando grandes cantidades de basura y escombros en el terreno. En 1987, un sistema de aguas residuales mejorado fue instalado en Tijuana. Éste incluyó una nueva estación de bombeo, un canal de concreto de transporte y una planta nueva de tratamiento para $94,640 \text{ m}^3/\text{d}$, ubicados en Punta Bandera cerca de la costa a unos ocho kilómetros al sur de la frontera internacional. Cuando los problemas siguieron en la década de 1990, se aprobó la construcción de una planta de tratamiento primario avanzado de $94,640 \text{ m}^3/\text{d}$, justo al norte de la frontera. Esta instalación, conocida como la Planta Internacional de Tratamiento de Aguas Residuales, inició operaciones en 1997, con el entendimiento de que se construirían instalaciones de tratamiento secundario en una fase posterior. Se firmó un acuerdo en 2004 que comprometía el requisito

(continúa en la Ilustración 35)



Land Ownership

Tenencia de la Tierra

this development. Factors such as hilly topography and squatter settlements lining the hillside have contributed to excessive erosion and sediment loads in the canyon. In addition, housing on the steep slopes of Los Laureles Canyon is susceptible to flooding and landslides during storm events. It is anticipated that flooding will continue to occur in its channels due to increased urbanization, loss of vegetation on the hillsides, accumulation of sediment and other debris in drainage channels, and an inadequate storm drainage system.

Representatives from agencies in Mexico and the United States are working together on a community-based slope stabilization and erosion control project within Los Laureles Canyon. This project aims to decrease impermeability in the canyon, prevent sedimentation into the Tijuana River Valley, and offer quality recreation activities for the Tijuana residents.

Border Fencing. Portions of the westernmost 14 miles (23 km) of the U.S.-Mexican border include secondary and tertiary fencing, roads, and other improvements deemed necessary by the U.S. federal government for border security. This is in addition to the primary fencing already in existence for most of the 14-mile distance. The government plans to complete roads and triple fencing for the area from the ocean to Otay Mountain. There is great concern that the proposed additional infrastructure will result in significant sedimentation impacts on the Tijuana River Estuary since substantial cut and fill are required for the fencing and supporting roads. How to meet the operational requirements of the U.S. Border Patrol while protecting the irreplaceable resources of the estuary is a difficult issue that must be resolved in the near future.

Estuary Restoration. The Tijuana River Estuary is the core of the coastal preserve. Uninterrupted by major roads, rail lines, or other infrastructure, native habitats exist in close association with one another on the coastal floodplain and in the border highlands immediately to the south. Beach dunes, intertidal and estuarine habitats, seasonal freshwater wetlands, riparian areas, and distinct coastal scrub habitats exist here. After a decades-long effort by community activists and government agencies, these resources are now publicly owned and managed. Although a 4,000-acre (1,619-hectare) conservation area has been secured on the lower river, natural areas upstream are rapidly being converted to urban uses. This dichotomy, and the attendant losses to environmental quality, brings an urgency to work here. It also gives rise to a larger need for cooperation that extends beyond the saltmarshes and willow woodlands to the entire 1,750-square mile (4,532-km²) watershed. Habitat restoration work that initially focused on saltmarsh habitats now also targets riparian and upland habitats. Ecological surveys dating from the 1970s show rare endemic species in each area. Progressive deterioration in habitat quality resulting from human impacts and the related invasion by opportunistic exotic species have also been documented. Concurrent with the assembling of public lands, plans have been made for a phased restoration program, guided by ecosystem monitoring, scientific research, and construction experience.

Extremely friable soils are typical throughout the region. Under natural conditions, vegetation holds the soil particles in place. Heavy rains can erode the

(continues on Plate 36)

del Sistema Nacional de Eliminación de Descargas Contaminantes de proporcionar un tratamiento secundario.

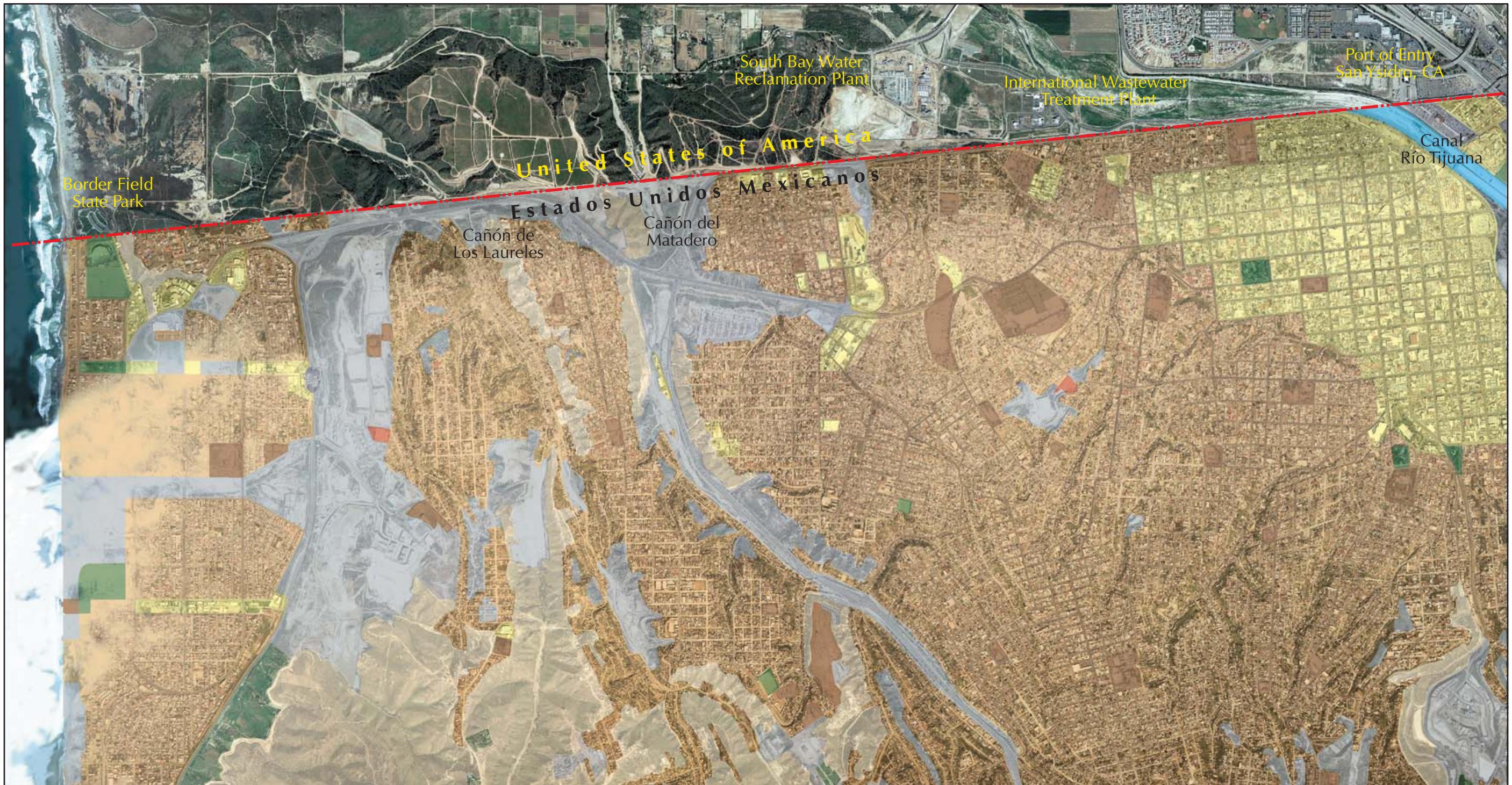
Cañón de Los Laureles-Goat Canyon. El Cañón de Los Laureles es un pequeño cañón lateral que mide 13 kilómetros cuadrados en la Cuenca del Río Tijuana. Está ubicado a sólo uno a tres kilómetros de la costa y el 90% se encuentra en México. Esta pequeña cuenca es de especial interés y preocupación porque fluye directamente dentro de la Reserva Nacional de Investigación del Estuario del Río Tijuana (TRNERR, por sus siglas en inglés) y es una fuente considerable de sedimentos y basura en la sección sur del estuario. Con el paso del tiempo, este cañón se ha urbanizado cada vez más, aunque carece de una infraestructura urbana básica que soporte este desarrollo. Factores tales como la topografía accidentada y los asentamientos irregulares que cubren las laderas han contribuido a la erosión excesiva y cargas de sedimentos en el cañón. Asimismo, las viviendas construidas en las escarpaduras del Cañón de Los Laureles son susceptibles a las inundaciones y deslizamientos durante las tormentas. Se anticipa que seguirán ocurriendo inundaciones en sus canales debido a la creciente urbanización, pérdida de vegetación en las laderas, acumulación de sedimentos y otros escombros en los canales de desagüe y un sistema de alcantarillado pluvial deficiente.

Representantes de organismos de México y de los Estados Unidos están trabajando juntos en un proyecto basado en la comunidad de estabilización de laderas y control de la erosión dentro del Cañón de Los Laureles. El proyecto pretende disminuir la impermeabilidad en el cañón, frenar la sedimentación en el Valle del Río Tijuana y ofrecer actividades recreativas de calidad para los residentes de Tijuana.

El cerco fronterizo. Algunas secciones de los 23 kilómetros al extremo oeste de la frontera de los Estados Unidos y México incluyen cercos secundarios y terciarios, carreteras y otras mejoras consideradas necesarias por el gobierno federal estadounidense para la seguridad de la frontera. Esto es además del cerco original que ya existía en casi todos los 23 kilómetros de distancia. El gobierno tiene planes de completar las carreteras y el cercado triple en el área desde el océano hasta la Montaña de Otay. Existe gran preocupación que la propuesta de infraestructura adicional resultará en impactos importantes de sedimentación para el Estuario del Río Tijuana ya que se requieren cortes y rellenos considerables para los cercos y carreteras de soporte. Un tema difícil que debe ser resuelto en un futuro próximo es cómo cumplir con los requerimientos operativos de la Patrulla Fronteriza de los Estados Unidos y al mismo tiempo proteger los recursos irreemplazables del estuario.

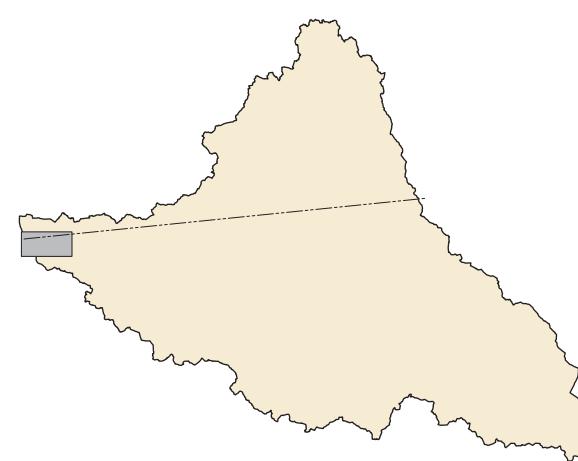
Restauración del Estuario. El Estuario del Río Tijuana es el núcleo de la reserva costera. Sin interrupciones de carreteras principales, vías de ferrocarril u otra infraestructura, los hábitats endémicos existen en cercana asociación el uno con el otro en la planicie costera de inundación y en las tierras altas fronterizas inmediatamente hacia el sur. Aquí existen dunas playeras, hábitats intermareales y estuarinos, humedales de temporada de agua dulce, áreas riparias y distintos hábitats de matorrales costeros. Después de décadas de esfuerzos de los activistas de la comunidad y organismos gubernamentales, estos recursos

(continúa en la Ilustración 36)



Land Use
Usos del Suelo

Agriculture	Agricultura	Public Facility	Instalación Pública
Commercial	Comercial	Residential	Residencial
Disturbed	Perturbado	Transportation	Transporte
Industrial	Industrial	Undeveloped	Sin Desarrollar
Recreation	Recreación	Water	Agua



Canyon Land Use Sediment Contribution

Usos del Suelo en los Cañones Contribución de Sedimentos

landscape, bringing sand and silt to the coast. However, human activity in the watershed over the past 150 years has wrought profound changes in this cycle. Now, even light rains erode bare hillsides and bring trash and massive loads of silt to the estuary. This has resulted in a steep loss of tidal prism, that is, the exchange of water in a tidal cycle that provides for discharge of sediment to the ocean. Intertidal saltmarsh habitats have been particularly affected and are now dramatically reduced both in extent and quality.

The Tijuana Estuary Tidal Restoration Program was adopted in 1992 with the objectives of increasing the tidal prism, restoring intertidal habitats, improving water quality, and restoring the barrier beach dunes. Much of this is to be accomplished by removing fill material and accumulated sediment from key areas of the estuary, constructing canyon-mouth basins that will be routinely excavated, and, importantly, working to heal erosion sources throughout the watershed. Two completed projects, the Oneonta Tidal Linkage (1997) and the Model Marsh (2000), have restored critical saltmarsh habitat and attracted endangered species. Sediment management basins in Goat Canyon (2004) are designed to control the large sediment load delivered directly to the south arm of the estuary from Cañón de Los Laureles. New studies are expected to lay a foundation for a second, larger phase of the restoration program that will include features to disperse flood energy and silt. The plan may also include pumping sandy material to the beach, thus integrating saltmarsh restoration with beach replenishment.

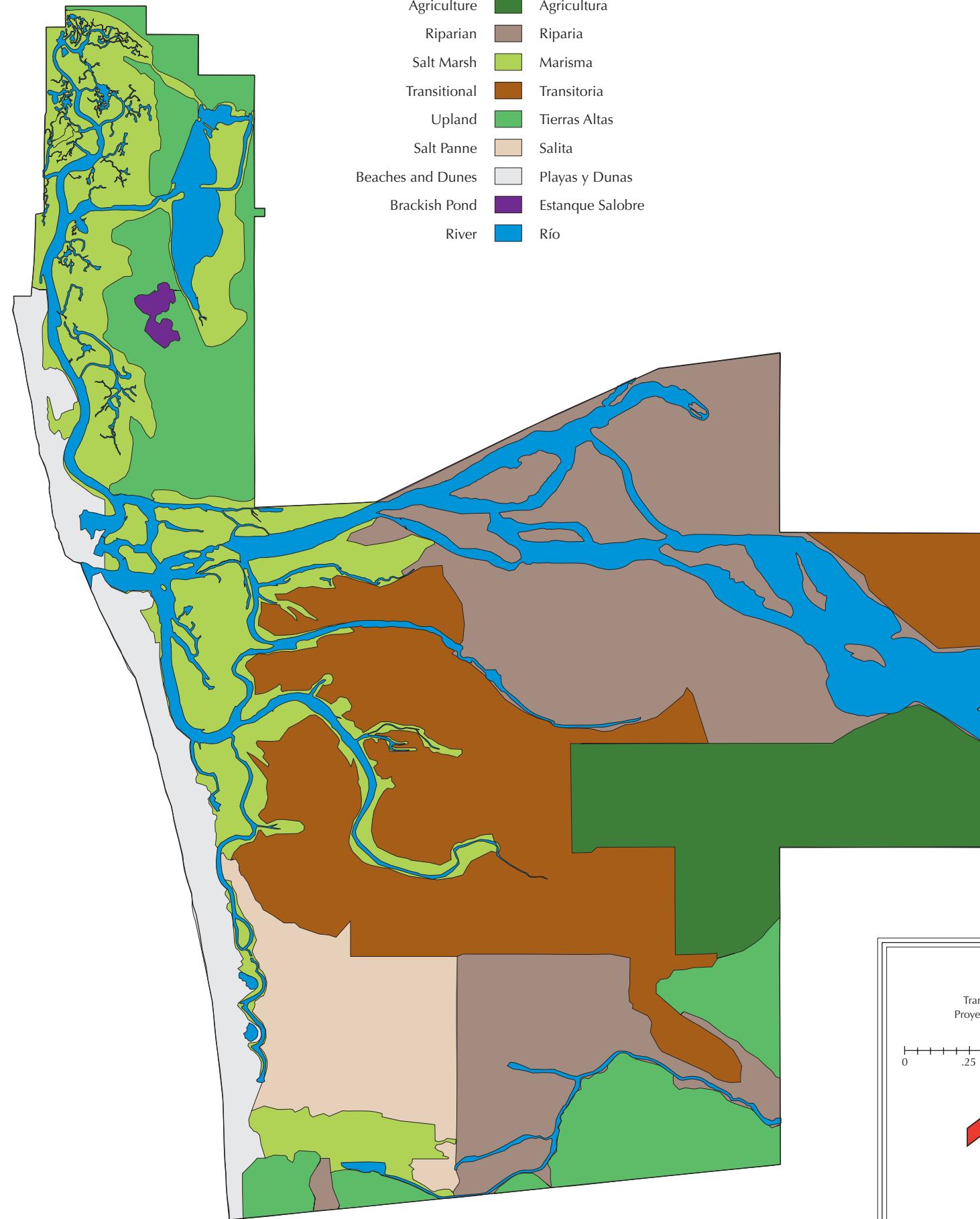
ahora son de propiedad y administración pública. Aunque se ha asegurado un área de conservación de 1,619 hectáreas en la parte baja del río, las áreas naturales aguas arriba están siendo incorporadas rápidamente a usos urbanos. Esta dicotomía, y las pérdidas asociadas de calidad ambiental, requieren de un trabajo urgente. También causa una mayor necesidad de una cooperación que va más allá de las marismas y los bosques de sauces en la cuenca y sus 4,532 kilómetros cuadrados. El trabajo de restauración del hábitat, con un enfoque inicial en los hábitats de las marismas, también incluye ahora a los hábitats riparios y las tierras altas. Estudios ecológicos de la década de 1970 muestran la existencia de especies endémicas raras en cada área. También se han documentado el deterioro progresivo en la calidad del hábitat que resulta de los impactos humanos y la invasión relacionada de especies exóticas oportunistas. Al mismo tiempo que se agrupan terrenos públicos, se han elaborado planes para un programa de restauración por fases basados en el monitoreo del ecosistema, en investigaciones científicas y en la experiencia de las constructoras.

Los suelos sumamente frágiles son típicos por toda la región. Bajo condiciones naturales, la vegetación mantiene a las partículas del suelo en su lugar. Las lluvias fuertes pueden erosionar el paisaje y arrastrar arena y sedimentos a la costa. Sin embargo, la actividad humana en la cuenca en los últimos 150 años ha provocado profundos cambios en este ciclo. Hoy en día, hasta las lluvias ligeras erosionan las laderas sin cubierta alguna y llevan al estuario basura y cargas enormes de sedimentos. Esto ha resultado en una profunda pérdida del prisma de marea, es decir, el intercambio de agua en un ciclo de mareas que prevé la descarga de sedimentos en el océano. Los hábitats de marismas intermareales han sido especialmente afectados y ahora están radicalmente reducidos tanto en extensión como en calidad.

El Programa de Restauración de Marismas del Estuario del Río Tijuana fue adoptado en 1992 con los propósitos de aumentar el prisma de marea, restaurar los hábitats intermareales, mejorar la calidad del agua y restaurar las dunas de playa que forman barreras. Gran parte de estos propósitos se realizará mediante la remoción del material de relleno y sedimento acumulado de las áreas claves del estuario. Se construirán cuencas en las bocas de los cañones que serán excavadas rutinariamente y, más importante, se trabajará para sanar las fuentes de erosión por toda la cuenca. Dos proyectos realizados, el Enlace de Mareas de Oneonta (1997) y la Marisma Modelo (2000), han restaurado hábitats importantes de marismas y han recuperado especies en peligro de extinción. Las cuencas que controlan los sedimentos en el Cañón de Los Laureles (2004) están diseñadas para controlar las grandes cargas de sedimentos que van directamente al brazo sur del estuario. Se espera que nuevos estudios sienten las bases para una mayor segunda fase del programa de restauración que incluirá los elementos para dispersar la energía y los sedimentos de las inundaciones. El plan también puede incluir el bombeo de material arenoso hacia la playa, integrando así la restauración de la marisma con la regeneración de la playa.

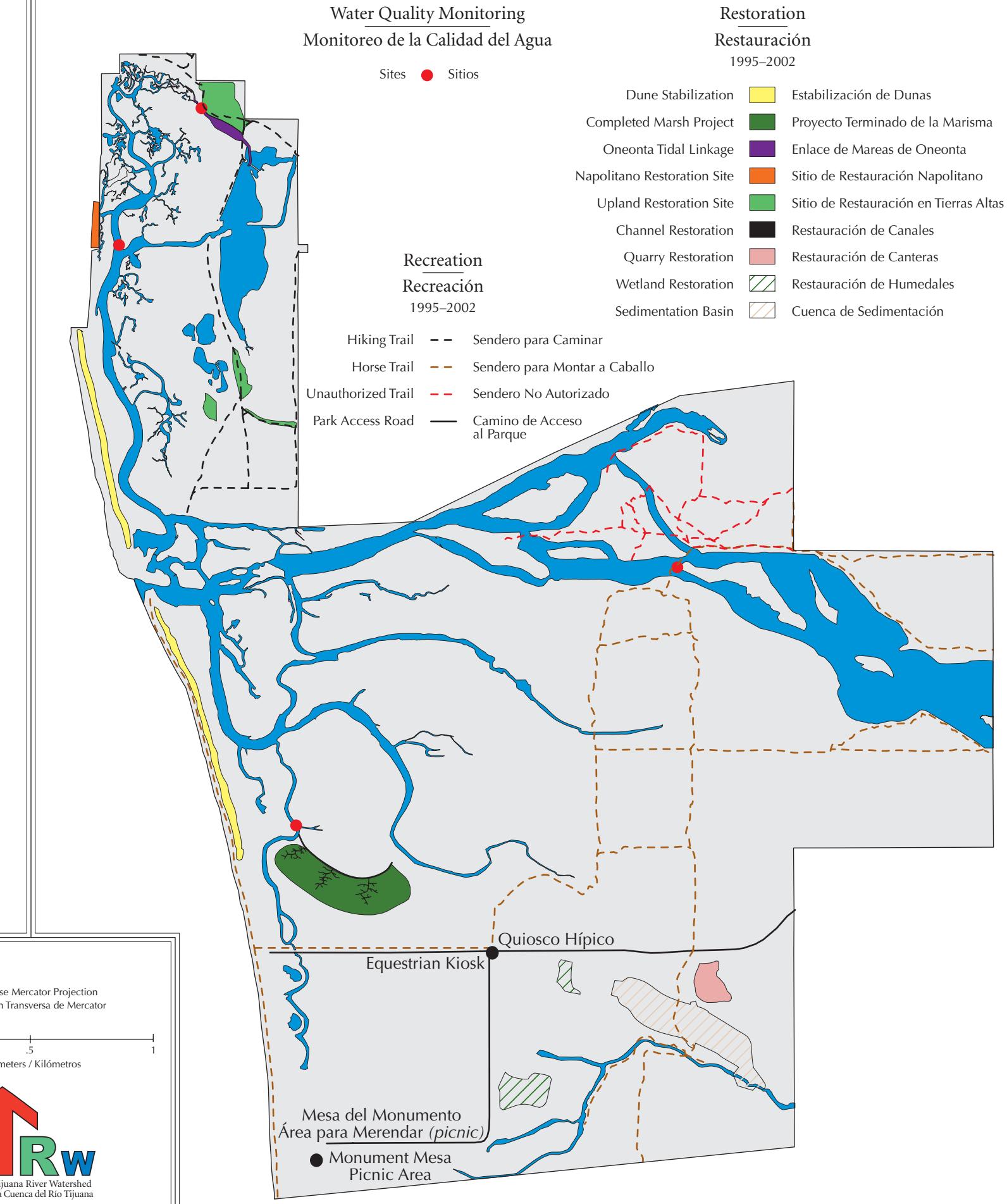
Vegetation

Vegetación



Recreation, Restoration, and Monitoring

Recreación, Restauración y Monitoreo





Sources Fuentes

Section One – Sección Uno**Vegetation / Vegetación**

- Beauchamp, R.M. 1986. *A Flora of San Diego County*. National City, CA: Sweetwater River Press.
- Delgadillo, J. 1998. *Florística y Ecología del Norte de Baja California*. 2nd Edition. Mexicali, B.C., México: Universidad Autónoma de Baja California.
- Minnich, R.A., and E. Franco-Vizcaino. 1997. "Mediterranean Vegetation of Northern Baja California." *Fremontia* 25 (3): 3–12 (Note that a Spanish-language version of this article appeared in a special edition of Fremontia in July 1999).
- Oberbauer, T.A. 1992. "Vegetation of Northwestern Baja California." *Fremontia* 20 (2): 3–10 (Note that a Spanish-language version of this article appeared in a special edition of Fremontia in July 1999).
- O'Leary, J.F. 2000. "Map 12. Vegetation and Land Cover." In *San Diego-Tijuana International Border Area Planning Atlas*, P. Ganster and R. Wright, eds. San Diego: Institute for Regional Studies of the Californias and San Diego State University Press.
- Wiggins, I.L. 1980. *Flora of Baja California*. Stanford: Stanford University Press.

Section Two – Sección Dos**Indigenous Population / Población Indígena**

- Comer, Katherine. Forthcoming. "A Potential Riparian Protected Area: The Kumiai Corridor." In *SCERP Monograph Series*.

Air Quality / Calidad del Aire

- SEMARNAP. 2000. *Programa para Mejorar la Calidad del Aire de Tijuana-Rosarito 2000–2005*. Mexico City: SEMARNAP, Table 4.10.

Vegetation

- black sage
blue elderberry
California juniper
California lilac
California sagebrush
canyon live oak
chamise
coastal beavertail
coastal live oak
cottonwood
current and gooseberry
desert grape
flat-top buckwheat
four-leaf pinyon
giant reed
holly-leaf redberry
Jeffrey pine
laurel sumac
lemonade berry
manzanita
mugwort
mule fat
one-leaf pinyon
poison oak
Red Shank chaparral
San Diego sunflower
scrub oak
Shaw's agave
stinging nettle
sugar bush
tamarisk
velvet cactus
western sycamore
white sage
willow

Birds

- California gnatcatcher
least Bell's vireos
willow flycatchers
yellow-breasted chats

Latin / Latín

- Salvia mellifera*
Sambucus mexicana
Juniperus californica
Ceanothus spp.
Artemisia californica
Quercus chrysolepis
Adenostoma fasciculatum
Opuntia littoralis
Quercus agrifolia
Populus fremontii
Ribes spp.
Vitis girdiana
Eriogonum fasciculatum
Pinus quadrifolia
Arundo donax
Rhamnus illicifolia
Pinus Jeffreyi
Malosma laurina
Rhus ingegrifolia
Arctostaphylos spp.
Artemisia douglasiana
Baccharus salicifolia
Pinus monophylla
Toxicodendron diversilobum
Adenostoma sparsifolium
Viguiera laciniata
Quercus berberidifolia
Agave shawii
Urtica dioica ssp. Holosericea
Rhus ovata
Tamarix spp.
Bergerocactus emoryi
Platanus racemosa
Salvia apiana
Salix spp.

Vegetación

- salvia negra
baya azul de saúco
junípero californiano
lila californiana
artemisa de California
encino de cañones
chamizo
nopal costero del castor
encino costero
álagos
grosella y grosella espinosa
uva del desierto
alforfón
piñonero de cuatro hojas
carrizo
baya roja
pino Jeffrey
zumaque de laurel
bayas
manzanita
artemisa
chilca
piñonero de una hoja
roble venenoso
chaparral de tallo rojo
girasol de San Diego
encino
maguey primavera
ortiga
lentiscos
tamarisco
cactus terciopelo
sicómoros americanos
salvia blanca
sauce

Aves

- Polioptila californica californica*
Virio bellii pusillus
Empidonax traillii extimus
Icteria virens auricollis

Data Sources

Air Quality.

Source: Programa para Mejor la Calidad del Aire de Tijuana-Rosarito 2000–2005 [Program to Improve the Air Quality of Tijuana-Rosarito], SEMARNAP, Mexico City, August, 2000, Tables 5.8 and 5.9.

Quinlan, Rick, C., 2002, "Spatial Variations on Ambient Airborne Particulate Matter in the San Diego-Tijuana Border Region." Master's thesis, San Diego State University.

Airports.

Source: San Diego Association of Governments (SANDAG); San Diego State University (SDSU).

Aqueducts and Dams.

Source: United States Geological Survey (USGS); San Diego State University (SDSU); National Institute for Statistics, Geography, and Information (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática—INEGI); The College of the Northern Border (El Colegio de la Frontera Norte—COLEF).

Área Geoestadística Básica—AGEB (Basic Geostatistic Area) - 1990.

Source: National Institute for Statistics, Geography, and Information (INEGI)

Área Geoestadística Básica—AGEB (Basic Geostatistic Area) - 2000.

Source: National Institute for Statistics, Geography, and Information (INEGI).

Border.

Source: San Diego Association of Governments (SANDAG), 1997.

Census Tracts - 1990.

Source: U.S. Census Bureau.

Census Tracts - 2000.

Source: U.S. Census Bureau.

Coastline.

Source: San Diego Association of Governments (SANDAG), 1997.

Municipal Planning Institute of Tijuana (Instituto Municipal de Planeación de Tijuana) (IMPlan), 1995.

Elevation.

Source: United States Geological Survey (USGS); San Diego State University (SDSU); National Institute for Statistics, Geography, and Information (INEGI).

Flood Potential.

Source: The College of the Northern Border (COLEF).

Geology.

Source: Kahle, J.E., P.A. Bodin, and G.J. Morgan, "Preliminary Geologic Map of the California-Baja California Border Region," 1984; California Department of Conservation, Division of Mines and Geology; modified by George J. Morgan, 2004.

Geomorphology.

Source: The College of the Northern Border (COLEF); French Institute of Scientific Research for Development and Cooperation (IRD).

House Counts.

Source: The College of the Northern Border (COLEF); San Diego State University (SDSU); National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 1994, 1998.

Lakes.

Source: San Diego State University (SDSU); National Institute for Statistics, Geography, and Information (INEGI).

Land Use 1995.

Source: San Diego Association of Governments (SANDAG); County of San Diego; San Diego State University (SDSU).

Land Use 2000.

Source: San Diego Association of Governments (SANDAG); The College of the Northern Border (COLEF).

Major Roads.

Source: San Diego Association of Governments (SANDAG); The College of the Northern Border (COLEF); San Diego State University (SDSU).

Municipal Boundaries.

Source: San Diego Association of Governments (SANDAG), 1998; Municipal Planning Institute of Tijuana (IMPlan); State Secretariat of Human Settlements and Public Works (Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas del Estado—SAHOPE), 1999.

Orthorectified Aerial Photographs.

Source: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA); San Diego State University (SDSU), 2000.

Precipitation.

Source: Hydrosphere; San Diego Department of Public Works; National Water Commission (Comisión Nacional del Agua—CNA); San Diego State University (SDSU).

Acueductos y Presas.

Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (United States Geological Survey—USGS); Universidad Estatal de San Diego (San Diego State University—SDSU); Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI); El Colegio de la Frontera Norte (COLEF).

Aeropuertos.

Fuente: Asociación de Gobiernos de San Diego (San Diego Association of Governments—SANDAG); Universidad Estatal de San Diego (San Diego State University—SDSU), 2000.

Área Geoestadística Básica—AGEB - 1990.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

Área Geoestadística Básica—AGEB - 2000.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

Áreas de Recreación en el Estuario del Río Tijuana.

Fuente: Centro de Información del Estuario del Río Tijuana, Parques Estatales de California.

Calidad del Agua.

Fuente: Ciudad de San Diego, Departamento Metropolitano de Aguas Residuales; 1997–2001. Gersberg, Richard. 2004. "Water Quality Monitoring and Prediction in the Binational Tijuana River Watershed" [Monitoreo y pronóstico de la calidad del agua en la Cuenca Binacional del Río Tijuana]. Informe final presentado a la Junta de Control de Recursos Hídricos del Estado (State Water Resources Control Board—SWRCB).

Calidad del Aire.

Fuente: Programa para Mejor la Calidad del Aire de Tijuana-Rosarito 2000–2005, SEMARNAP, México, D.F. Agosto 2000, Cuadros 5.8 y 5.9. Quinlan, Rick, C., 2002, "Spatial Variations on Ambient Airborne Particulate Matter in the San Diego-Tijuana Border Region" [Variaciones espaciales en Materia Particulada del Ambiente Atmosférico en la Región Fronteriza de San Diego-Tijuana]. Tesis de maestría, Universidad Estatal de San Diego (SDSU).

Carreteras Principales.

Fuente: Asociación de Gobiernos de San Diego (SANDAG); El Colegio de la Frontera Norte (COLEF); Universidad Estatal de San Diego (SDSU).

Elevación.

Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS); Universidad Estatal de San Diego (SDSU); Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

Fuentes de Datos

Fotografías Aéreas Ortorectificadas.

Fuente: Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (National Oceanic and Atmospheric Administration—NOAA); Universidad Estatal de San Diego (SDSU), 2000.

Frontera.

Fuente: Asociación de Gobiernos de San Diego (SANDAG), 1997.

Geología.

Fuente: Kahle, J.E., P.A. Bodin y G.J. Morgan, "Preliminary Geologic Map of the California-Baja California Border Region," [Mapa geológico preliminar de la región fronteriza de California-Baja California] 1984; Departamento de Conservación de California, División de Minas y Geología; modificado por George J. Morgan, 2004.

Geomorfología.

Fuente: El Colegio de la Frontera Norte (COLEF); Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo y la Cooperación (IRD).

Imagen de Satélite - LANDSAT.

Fuente: Asociación de Gobiernos de San Diego (SANDAG), 2000.

Imagen de Satélite - SPOT.

Fuente: SPOT Image Corporation, Reston, Virginia, 1995.

Lagos.

Fuente: Universidad Estatal de San Diego (SDSU); Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

Límite de la cuenca.

Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS); Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI); Universidad Estatal de San Diego (SDSU); El Colegio de la Frontera Norte (COLEF).

Límites de Municipios.

Fuente: Asociación de Gobiernos de San Diego (SANDAG), 1998; Instituto Municipal de Planeación (IMPlan); Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas del Estado (SAHOPE), 1999.

Límites de Subcuenca.

Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS); Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI); Universidad Estatal de San Diego (SDSU); El Colegio de la Frontera Norte (COLEF).

Precipitation - Modeled.

Source: Hydrosphere; San Diego Department of Public Works; National Water Commission (CNA); San Diego State University (SDSU).

Railroads - Freight.

Source: San Diego Association of Governments (SANDAG), 1997.

Railroads - Trolley.

Source: San Diego Association of Governments (SANDAG), 1997.

Rivers / Streams.

Source: United States Geological Survey (USGS); San Diego State University (SDSU); National Institute for Statistics, Geography, and Information (INEGI); The College of the Northern Border (COLEF).

San Diego County Land Ownership.

Source: San Diego Association of Governments (SANDAG).

San Diego County Land Use 2030.

Source: San Diego Association of Governments (SANDAG).

Satellite Image - LANDSAT.

Source: San Diego Association of Governments (SANDAG), 2000.

Satellite Image - SPOT.

Source: SPOT Image Corporation, Reston, Virginia, 1995.

Soils.

Source: National Resource Conservation Service (NRCS); United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization (UNESCO); The College of the Northern Border (COLEF); San Diego State University (SDSU).

Soils - Modeled.

Source: San Diego State University (SDSU), 1997.

Subbasin Boundaries.

Source: United States Geological Survey (USGS); National Institute for Statistics, Geography, and Information (INEGI); San Diego State University (SDSU); The College of the Northern Border (COLEF).

Temperature.

Source: Hydrosphere; San Diego Department of Public Works; National Water Commission (CNA); San Diego State University (SDSU).

Tijuana Land Use - 1956.

Source: San Diego State University (SDSU).

Tijuana Land Use - 1962.

Source: San Diego State University (SDSU).

Tijuana Land Use - 1970.

Source: San Diego State University (SDSU).

Tijuana Land Use - 1980.

Source: San Diego State University (SDSU).

Tijuana Land Use - 1994.

Source: San Diego State University (SDSU).

Tijuana Land Use - 2030.

Source: The College of the Northern Border (COLEF).

Tijuana River Estuary Land Ownership.

Source: California State Parks Tijuana River Estuary Visitor Center.

Tijuana River Estuary Recreation Areas.

Source: California State Parks Tijuana River Estuary Visitor Center.

Tijuana River Estuary Restoration Sites.

Source: California State Parks Tijuana River Estuary Visitor Center.

Tijuana River Estuary Trails.

Source: California State Parks Tijuana River Estuary Visitor Center.

Tijuana River Estuary Vegetation.

Source: California State Parks Tijuana River Estuary Visitor Center.

Tijuana River Estuary Water Monitoring Sites.

Source: California State Parks Tijuana River Estuary Visitor Center.

Vegetation - 1953.

Source: The College of the Northern Border (COLEF).

Vegetation - 1970.

Source: The College of the Northern Border (COLEF).

Vegetation - 1994.

Source: San Diego Association of Governments (SANDAG); County of San Diego; San Diego State University (SDSU).

Water Quality.

Source: City of San Diego, Metropolitan Wastewater Department, 1997–2001.

Gersberg, Richard. 2004. "Water Quality Monitoring and Prediction in the Binational Tijuana River Watershed." Final Report submitted to State Water Resources Control Board.

Watershed Boundary.

Source: United States Geological Survey (USGS); National Institute for Statistics, Geography, and Information (INEGI); San Diego State University (SDSU); The College of the Northern Border (COLEF).

Litoral.

Fuente: Asociación de Gobiernos de San Diego (SANDAG), 1997.

Instituto Municipal de Planeación (IMPlan), 1995.

Potencial de Inundación.

Fuente: El Colegio de la Frontera Norte (COLEF).

Precipitación.

Fuente: Hidrosfera; Departamento de Obras Públicas de San Diego; Comisión Nacional del Agua (CNA); Universidad Estatal de San Diego (SDSU).

Precipitación - Modelado.

Fuente: Hidrosfera; Departamento de Obras Públicas de San Diego; Comisión Nacional del Agua (CNA); Universidad Estatal de San Diego (SDSU).

Recuento de Casas.

Fuente: El Colegio de la Frontera Norte (COLEF); Universidad Estatal de San Diego (SDSU); Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), 1994, 1998.

Ríos / Arroyos.

Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS); Universidad Estatal de San Diego (SDSU); Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI); El Colegio de la Frontera Norte (COLEF).

Secciones Censales - 1990.

Fuente: Oficina del Censo de los Estados Unidos.

Secciones Censales - 2000.

Fuente: Oficina del Censo de los Estados Unidos.

Senderos en el Estuario del Río Tijuana.

Fuente: Centro de Información del Estuario del Río Tijuana, Parques Estatales de California.

Sitios de Monitoreo del Agua en el Estuario del Río Tijuana.

Fuente: Centro de Información del Estuario del Río Tijuana, Parques Estatales de California.

Sitios de Restauración en el Estuario del Río Tijuana.

Fuente: Centro de Información del Estuario del Río Tijuana, Parques Estatales de California.

Suelos.

Fuente: Servicio de Conservación de Recursos Naturales (National Resource Conservation Service–NRCS); Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization–UNESCO); El Colegio de la Frontera Norte (COLEF); Universidad Estatal de San Diego (SDSU).

Suelos - Modelados.

Fuente: Universidad Estatal de San Diego (SDSU), 1997.

Temperatura.

Fuente: Hidrosfera; Departamento de Obras Públicas de San Diego; Comisión Nacional del Agua (CNA); Universidad Estatal de San Diego (SDSU).

Tenencia de la Tierra en el Condado de San Diego.

Fuente: Asociación de Gobiernos de San Diego (SANDAG).

Tenencia de la Tierra en el Estuario del Río Tijuana.

Fuente: Centro de Información del Estuario del Río Tijuana, Parques Estatales de California.

Usos del Suelo 1995.

Fuente: Asociación de Gobiernos de San Diego (SANDAG); Condado de San Diego; Universidad Estatal de San Diego (SDSU).

Usos del Suelo 2000.

Fuente: Asociación de Gobiernos de San Diego (SANDAG); El Colegio de la Frontera Norte (COLEF).

Usos del Suelo en el Condado de San Diego - 2030.

Fuente: Asociación de Gobiernos de San Diego (SANDAG).

Usos del Suelo en Tijuana - 1956.

Fuente: Universidad Estatal de San Diego (SDSU).

Usos del Suelo en Tijuana - 1962.

Fuente: Universidad Estatal de San Diego (SDSU).

Usos del Suelo en Tijuana - 1970.

Fuente: Universidad Estatal de San Diego (SDSU).

Usos del Suelo en Tijuana - 1980.

Fuente: Universidad Estatal de San Diego (SDSU).

Usos del Suelo en Tijuana - 1994.

Fuente: Universidad Estatal de San Diego (SDSU).

Usos del Suelo en Tijuana - 2030.

Fuente: El Colegio de la Frontera Norte (COLEF).

Vegetación - 1953.

Fuente: El Colegio de la Frontera Norte (COLEF).

Vegetación - 1970.

Fuente: El Colegio de la Frontera Norte (COLEF).

Vegetación - 1994.

Fuente: Asociación de Gobiernos de San Diego (SANDAG); Condado de San Diego; Universidad Estatal de San Diego (SDSU).

Vegetación en el Estuario del Río Tijuana.

Fuente: Centro de Información del Estuario del Río Tijuana, Parques Estatales de California.

Vías Férreas - Carga.

Fuente: Asociación de Gobiernos de San Diego (SANDAG), 1997.

Vías Férreas - Tren Ligero de Pasajeros (Trolley).

Fuente: Asociación de Gobiernos de San Diego (SANDAG), 1997.