

### 3. DER WASSERBAU IM TAL VON MEXIKO: GESCHICHTLICHER ABRISS

Das präkolumbianische Ökosystem, wie es die Azteken vorfanden, als sie nach Zentralmexiko vordrangen, läßt sich aufgrund von Grabungen relativ genau rekonstruieren: Gefundene Kranicheier, Wurzelstöcke von mächtigen Sumpfyypressen, von Erlen und Weiden deuten auf eine Landschaft, die durch zahlreiche Seen (Karte 19) mit dazwischen liegenden Sümpfen geprägt war. (Wagner 1952, 163) Von den umliegenden Gebirgen, die vorwiegend mit Kiefern- und Eichenwäldern bedeckt waren, strömten zahlreiche Bäche und Flüsse, deren größte in den nördlichen Zumpango-See mündeten. (DDF II 1975, 13f/72)

Während die kleineren nördlichen und südlichen Seen Süßwasser enthielten, war das Wasser des tiefer gelegenen Texcoco-Sees wegen des salpeterhaltigen Untergrunds, des fehlenden Abflusses und der hohen Verdunstung stark salzhaltig.

Die Azteken fanden bei ihrem Eintreffen im Tal von Mexiko (wie schon 500 Jahre vor ihnen die Tolteken) eine hoch entwickelte Hydrokultur vor. (1) Mais, Bohnen, Tomaten, Kürbis und viele andere Lebensmittel wurden auf bewässertem Land und "schwimmenden Gärten" (2) angebaut. (A.a.O., 14ff) Eindeichungen, Flußumleitungen und auch Trinkwasserleitungen waren bekannt.

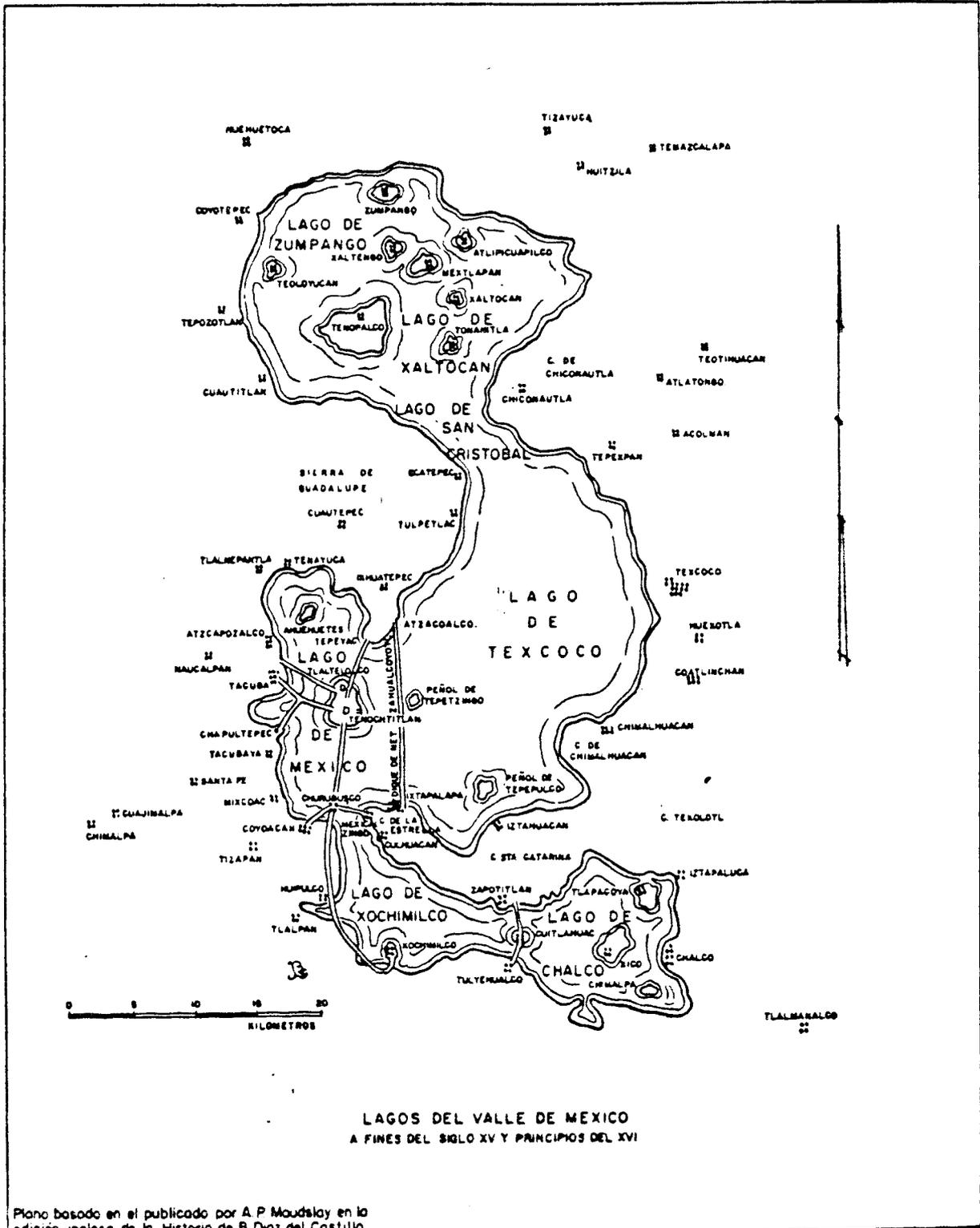
Die Azteken selbst begannen erst im 15. Jh., als ihr Insel-Stadtstaat im Texcoco-See nicht mehr länger von den sie umgebenden Völkerschaften bedroht war, jene Deiche zu bauen, die die Insel mit dem Festland verbanden. Einer dieser Dämme war gleichzeitig Aquädukt und diente der Trinkwasserversorgung.

Als das bemerkenswerteste Bauwerk bezeichnet Fox (1965, 526) jenen nur von einigen Schleusen durchbrochenen 16 km langen Deich, der östlich von Tenochtitlán durch den Texcoco-See gebaut worden war (vgl. Karte 19), um die Stadt vor den Überschwemmungen zu schützen, die ihr bei starker Wasserführung der im Norden mündenden Flüsse drohten.

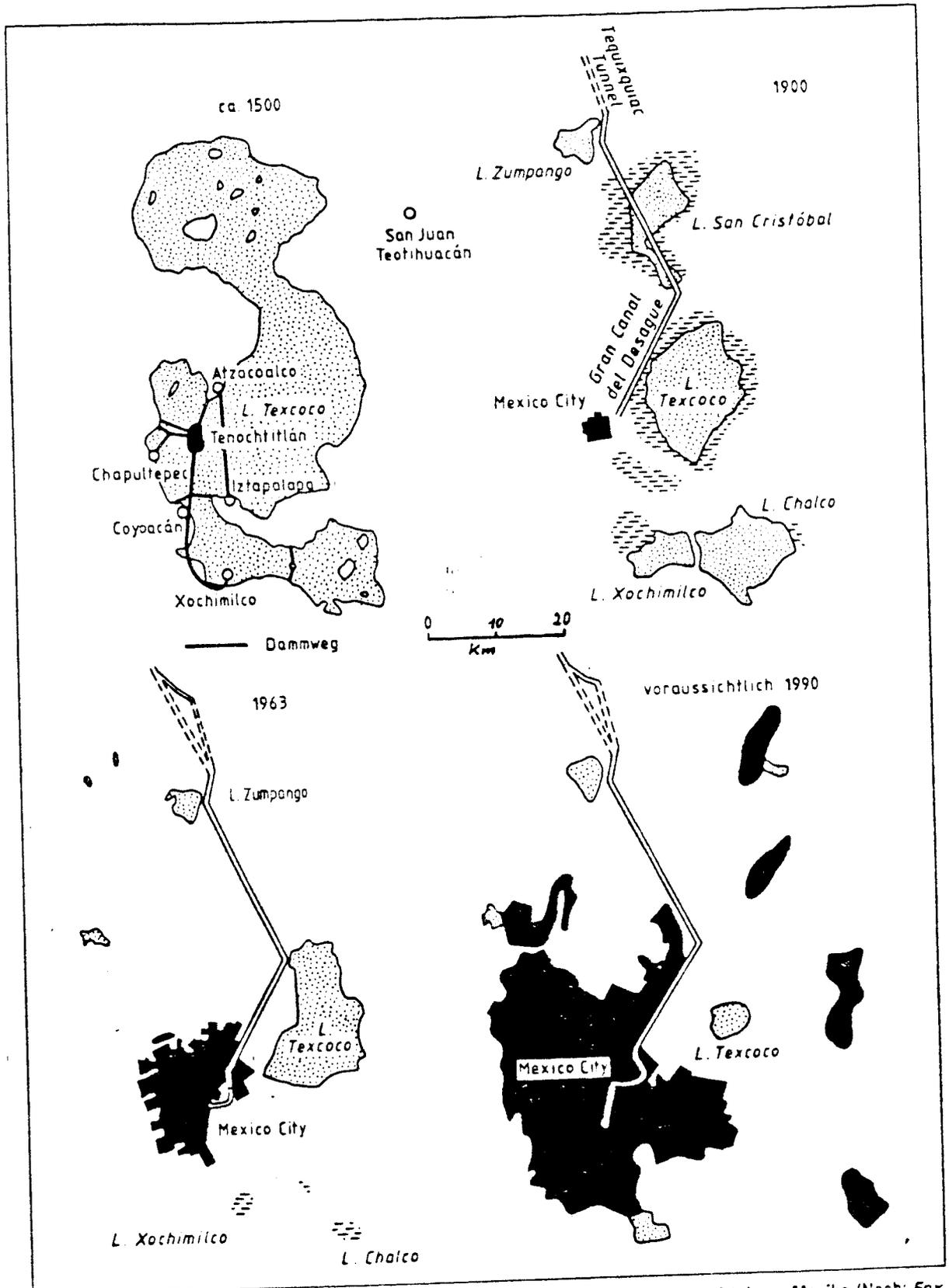
---

(1) Für das Jahr 1512 kennt Sanchez (1979, 540) in Zentralmexiko 382 voneinander unabhängige Bewässerungssysteme.

(2) "Schwimmende Gärten" oder "Chinampas" sind künstliche Inseln oder Flöße für den Gemüseanbau. (Fox 1965, 525) Ausgrabungen belegen deren Existenz bereits für das 1. Jh. u. Z. (DDF II 1975, 17)



Karte 19: Die vorkolumbianische Seenlandschaft im Tal von Mexiko um 1500 (Quelle: Del Rio R. 1962, 46)



Karte 20: Städtisches Wachstum und die Schrumpfung der Seefläche im Hochtal von Mexiko (Nach: Fox 1965, S. 524) (Quelle: Sander 1983, 38, verbessert)

Aufgrund günstiger klimatischer Verhältnisse (1) verkannten die Spanier in den ersten Jahren ihrer Herrschaft die Wichtigkeit des Hochwasserschutzes und ließen die Anlagen verfallen. Ab ca. 1540 allerdings stellte man zur Regenzeit ein immer bedrohlicheres Anschwellen der Flüsse fest, so daß man sich schließlich doch zu Reparaturarbeiten entschloß. Dennoch kam es ab 1553 (2) fast alljährlich zu z.T. katastrophalen Überschwemmungen. (Wagner 1952, 164)(3) Zwar wurde nun mit Hochdruck an der Wiederherstellung der alten Dämme gearbeitet, der erhoffte Erfolg stellte sich allerdings nicht ein.

"Der Hauptmeister der Entwässerung Enrice Martines weist in einem Bericht vom 20. Juni 1608 als Ursache der Überschwemmung ausdrücklich auf die Abholzung der Höhen und Hänge der Gebirge hin. Weniger der vermehrte Holzverbrauch führte den Waldschwund herbei, als die eingeführten Ziegen, Schafe und Rinder. Einmal mußte Weideland für diese geschaffen werden, vor allem war es aber der Waldweidegang, der in seiner Stetigkeit in wenigen Jahrzehnten, verbunden mit dem Abbrennen, schwere Folgen zeigte, da jeglicher Nachwuchs vernichtet wurde. Bei der Steilheit der Berge setzte mit ihrer Entwaldung eine starke Erosion ein... Kahle vegetationslose Berge rückten an die Stelle der früher dicht bewaldeten. Mit dem Schwinden des Bodens, in dem ein Großteil der Niederschläge hatte versickern können, um als bewegliches Bodenwasser die Quellen zu speisen, schwollen die Wasserläufe in der Regenzeit in bisher unbekannter Weise an. Die Wasserzufuhr der Seen vervielfachte sich in diesen Monaten. Gleichzeitig führten die bisher klaren Gebirgsbäche und Flüsse Geröll und Schlammassen zu Tale... Die abgeschwemmten Erosionsmassen füllten im Laufe der Jahre die Seen auf. So lag der Boden des Texcocooses zur Zeit der Eroberung 14 Meter tiefer als heute. Mit der Verlandung der Seen sank deren Fassungsvermögen und stieg dementsprechend die Überschwemmungsgefahr." (Ebda)

"Beim Regierungsantritt des Vizekönigs Don Luis de Valeasco II. war ein Teil der Stadt verfallen und verlassen. Er beauftragte eine Kommission mit Vorschlägen zur Behebung der verzweifelten Lage." (Ebda)

Es wurde beschlossen, das ursprünglich abflußlose Tal entsprechend den Vorschlägen des Hamburger Astrologen, Geografen, Druckers und Ingenieurs Enrico Martínez (Heinrich Martin) nach Norden in den Rio Tula zu entwässern.

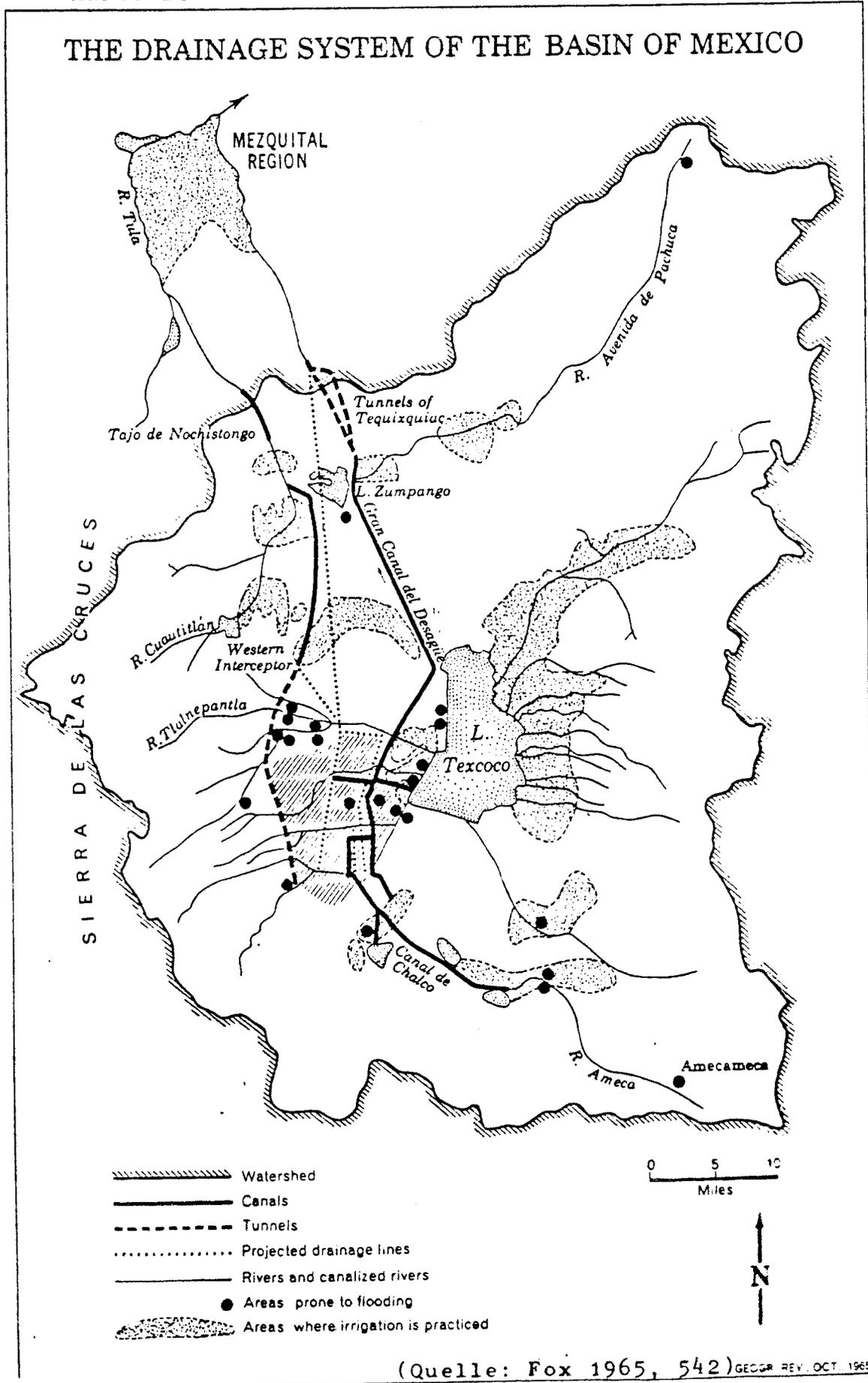
(1) Im Jahr 1541 war wegen der geringen Regenfälle in den Jahren zuvor der Seewasserspiegel soweit gefallen, daß die Stadt während der Trockenzeit auf einer natürlichen Landverbindung und nicht mehr nur über die Dämme vom Festland aus erreicht werden konnte. (Fox 1965, 526f)

(2) Nach DDF II (1975, 81) war die erste große Überschwemmung im Jahre 1555.

(3) Während der großen Überschwemmung von 1629-33 starben mehr als 50.000 Menschen. (DDF II 1975, 107)

Karte 21:

# THE DRAINAGE SYSTEM OF THE BASIN OF MEXICO



Man begann mit den Arbeiten 1607. Die wichtigste Etappe, ein 6,6 km langer Tunnel, der die Randgebirge durchbohrte, wurde bereits 1608 beendet, stürzte aber während der großen Überschwemmung 1629 wieder ein. (DDF II 1975, 98; Fox 1965, 527)

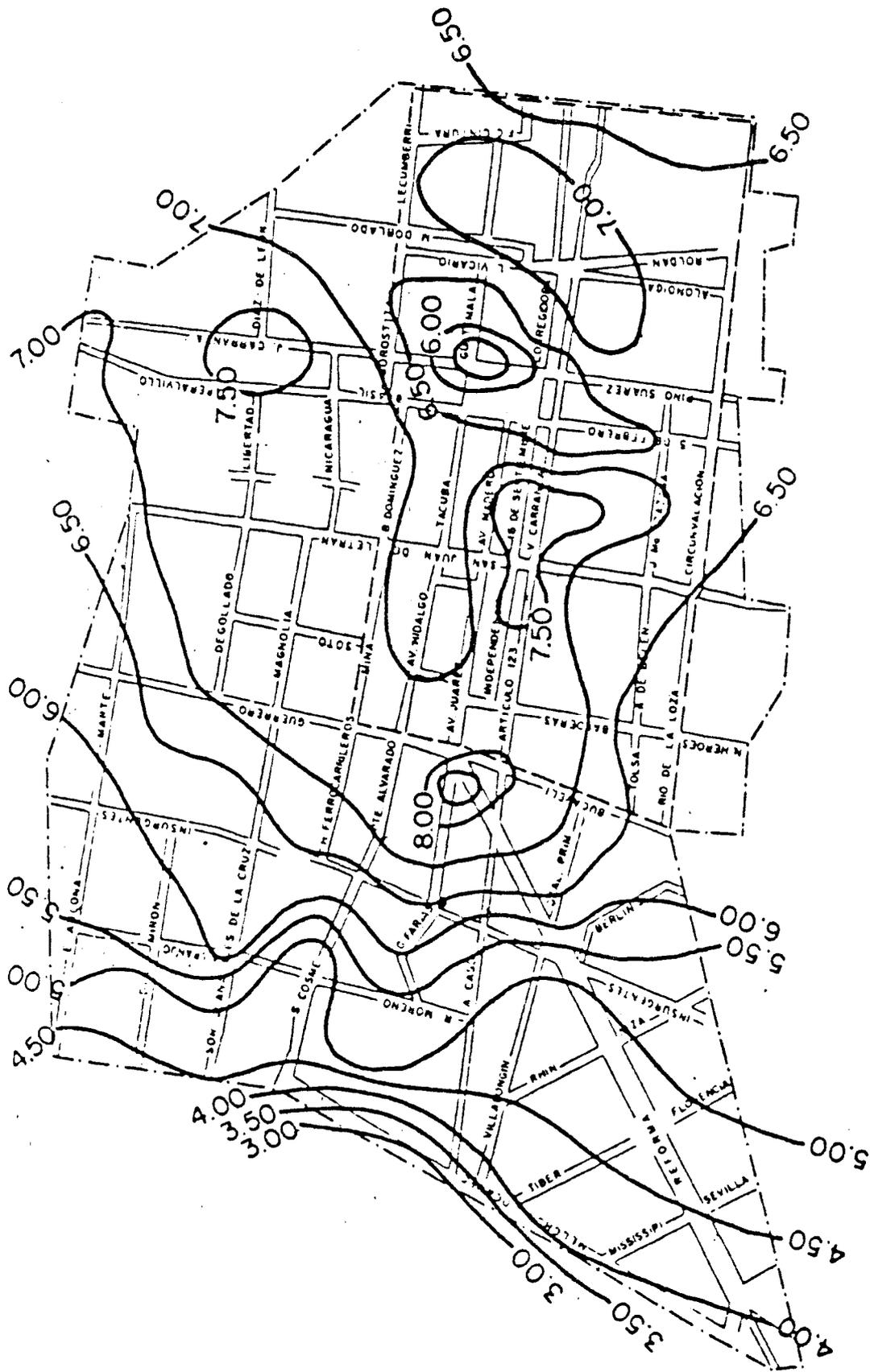
Nach weiteren Rückschlägen entschloß man sich schließlich zum Bau eines offenen Kanals, der 1789 vollendet wurde.

Seit dem Bau dieses "Tajo de Nochistongo" (vgl. Karte 21) gab es hochwassersichere Zonen in der Stadt. Das Problem der Überschwemmungen war dennoch noch nicht wirklich gelöst. Die Stadt wuchs. Vor allem die Menschen in den neubesiedelten, ehemaligen Uferregionen hatten jetzt darunter zu leiden, wenn die Flüsse zur Regenzeit answollen und die Niederungen überschwemmten. 1856 wurden daher weitere Entwässerungsarbeiten beschlossen, die um die Jahrhundertwende mit der nach dem Mischverfahren arbeitenden städtischen Kanalisation, dem bereits von Martínez projektierten "Gran Canal de Desagüe" als Vorfluter und dem "Túnel de Tequisquiac" vollendet wurden. (Kehr 1958, 1; DDF 1982, 1.15) (Karte 21)

Während früher die Niederschläge der Regenzeit in den Bergen versickerten und zahlreiche Quellen speisten, die die Stadt während des ganzen Jahres ausreichend mit Wasser versorgten, flossen nun aufgrund der Erosion die Wassermassen überwiegend oberirdisch ab und wurden, um der Überschwemmungsgefahr zu begegnen, über das Kanalsystem schnellstmöglich aus dem Hochtal hinaus geleitet. Ihr Trinkwasser erhielt die Stadt mehr und mehr aus Tiefbrunnen, von denen es 1847 ca. 500 und 1886 schon über 1000 gab. (DDF 1982, 1.15) In Verbindung mit dem Entwässerungssystem bewirkten sie eine allmähliche Grundwasserabsenkung, die einherging mit der Trockenlegung vieler Seen. (Karte 20)

"Von den Seen, die zur Indianerzeit im Hochtal von Mexiko vorhanden waren, ... sind heute nur noch Reste des Zumpango-Sees, des Texcoco-Sees und des Xochimilco-Sees vorhanden." (Kehr 1958, 2)(1)

(1) Der Versuch der Regierung Cárdenas in den 30er Jahren, den Texcoco-See völlig trockenulegen, um fruchtbares Ackerland zu gewinnen, erwies sich als absoluter Fehlschlag: "In völliger Unkenntnis der Verhältnisse wurde seine allmählich durch Abflußmangel erfolgte Versalzung nicht berücksichtigt. Heute ist das Seengebiet zumindest während der niederschlagsarmen Monate eine vegetationslose Salzwüste, in der die berüchtigten Staubstürme entstehen..." (Wagner 1952, 164) Diese "Tolvaneras" tragen neben den feinkörnigen Tonen, vulkanischen Aschen und Salzablagerungen vom trockengefallenen Seegrund auch die Fäkalien von 2 Mio Menschen aus den Elendsvierteln durch die Stadt, die ihre Notdurft mangels Anschluß an die Kanalisation dort im Freien verrichten müssen. (Kassebeer 1981)



Karte 22: Bodenabsenkungen im zentralen Bereich von Mexiko Stadt (1891 - 1970)  
(Quelle: Figueroa Vega 1973, 528)

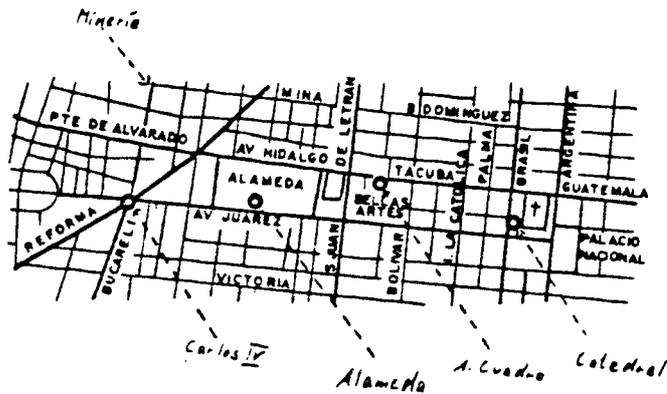
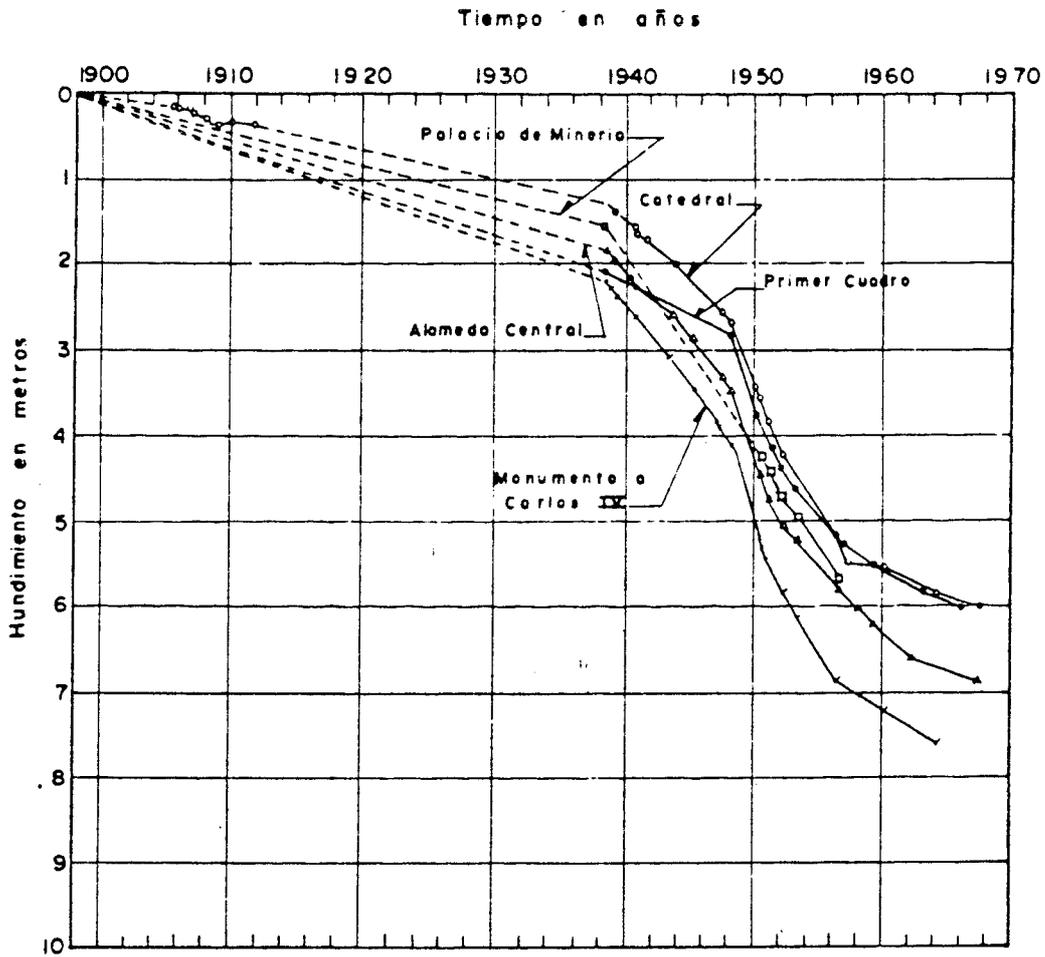


Abb. 1: Entwicklung der Bodensenkungen an ausgewählten Plätzen von Mexiko Stadt

(Quelle: DDF I 1975, 65, ergänzt)

Darüber hinaus wurde durch die Grundwasserabsenkung ein Prozeß eingeleitet, der bis heute eine existenzielle Bedrohung für die Stadt darstellt:

"Die Wasserentnahme aus den wasserführenden Sanden und Kiesen läßt im Untergrund der Stadt in eben diesen Schichten ein Vakuum entstehen, das den feinkörnigen, bentonitischen Tonen das Wasser entzieht. Die Bentonite schrumpfen. In horizontaler Richtung werden Erdrisse und in vertikaler Richtung Bodensenkungen hervorgerufen." (Kehr 1958, 2)

Bereits zwischen 1891 und 1895 wurden Bodensenkungen von jährlich 5 cm registriert (DDF 1982, 1.15), zwischen 1891 und 1970 senkten sich einige Gebiete in der Innenstadt um mehr als 8,50 m (Abb. 1 und Karte 22), und seitdem wurden weitere 2 m Bodenabsenkungen festgestellt. (1) Der Texcoco-See, der 1910 1,90 m unter dem Stadtzentrum lag, liegt heute 5,50 m über ihm. (DDF 1982, 1.19)

"Die schlimmste Folge der Grundwasserabsenkung und der dadurch hervorgerufenen Bodensenkungen ist aber die Beeinträchtigung der Kanalisation..." (Kehr 1958, 3)

"Die Bodensenkungen haben die Kanalisationsanlagen teils versacken lassen, teils zerrissen. Gefälle sind in Gegengefälle verwandelt worden, und an vielen Stellen der Stadt sind Tiefpunkte in der Kanalisation entstanden, die nicht mehr mit natürlichem Gefälle entwässert werden können." (Ebda)

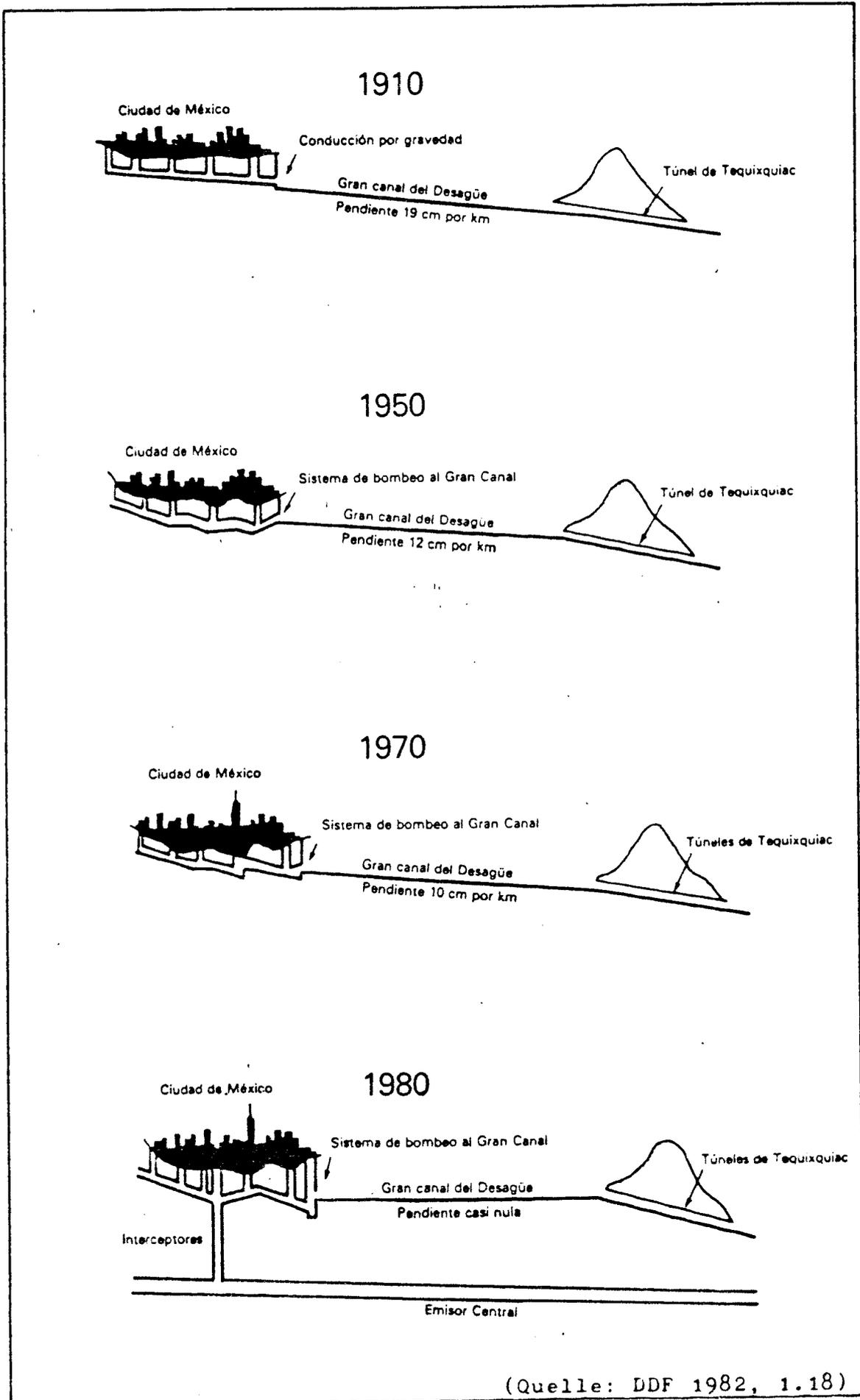
Teilweise sank das städtische Abwassersystem sogar unter das Niveau des Gran Canal, der im übrigen selbst von den Bodensenkungen betroffen war. (Abb. 2) Zwischen 1952 und 1966 mußten 29 Pumpenstationen an verschiedenen Stellen der Stadt errichtet werden, um die Entwässerung aufrechterhalten zu können. (DDF 1982, 1.17) In Extremsituationen konnten aber auch sie eine Überflutung der Stadt mit Abwässern nicht verhindern. (Abb. 3)

Angeichts der Erkenntnis, daß man die bestehenden Probleme nicht mit weiteren Improvisationen würde lösen können, begann man in den 50er Jahren mit der Planung eines neuen Kanalisationssystems, dessen Kernstück der 1975 vollendete "Emisor Central" bildete, jener bis zu 220 m tief laufende, 50 km lange, Tunnel mit einer Kapazität von  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ , der die Stadt wiederum

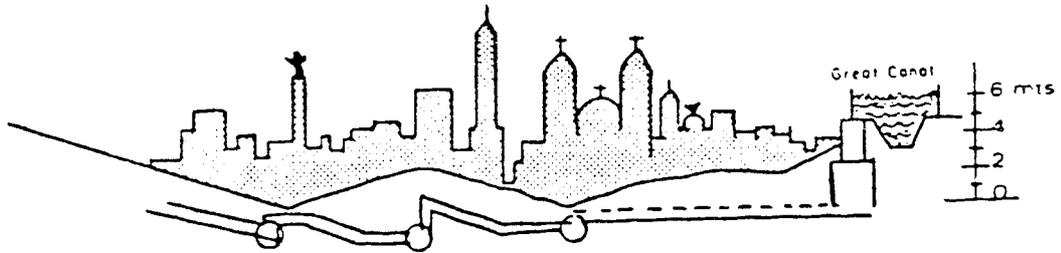
(1) Errechnet aus Angaben bei Figueroa (1973, 525) und DDF (1982, 1.8)

(2) Weitere Versuche, die Abwassermassen sofort aus dem Tal herauszuleiten wurden 1950 und 1961 unternommen mit dem Bau des 2. Tunnels von Tequisquiac bzw. dem des westlichen Hauptsammlers, der in den Tajo de Nochistongo entwässerte.

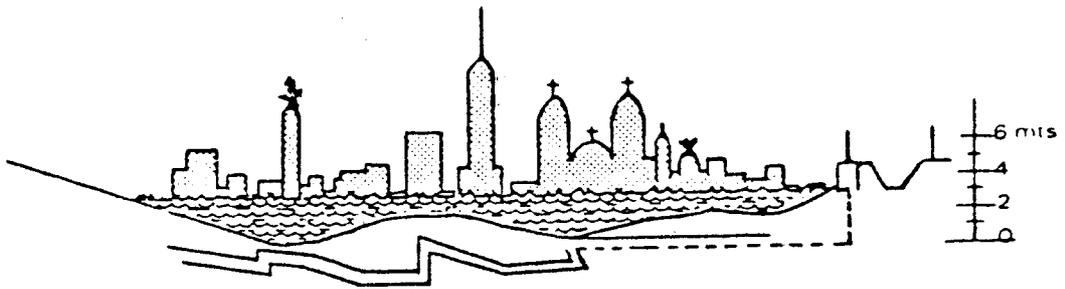
Abb. 2: Auswirkungen der Bodenabsenkungen auf das Kanalisationssystem



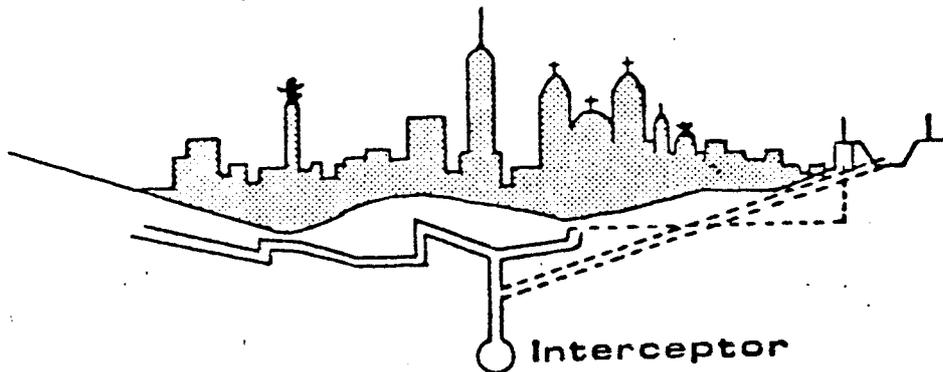
**THE PROBLEM:** The city of Mexico depended, for the drainage of its sewage and rainfalls, of the incapacity and frailty of the Great Canal.



**THE RISK:** Catastrophic flooding as a consequence of the lack of capacity of the system.



**FINAL SOLUTION:** DEEP DRAINAGE SYSTEM



*Mexico City depended on the Great Canal for drainage of its sewage and rainfalls (top). But the Canal did not have enough capacity, and catastrophic flooding resulted (center). The solution was the deep drainage system (bottom).*

nach Norden in den Rio Tula entwässerte. (DDF 1982, 3.12; Mexico City 1977, 33)(1) Da die "Drenaje Profundo" aber vorläufig nur während der Regenzeit betrieben wird (2)(SEDUE 1983, 106), da außerdem alle vorgeschalteten Abwasserleitungen höchstens 8 m tief liegen(3), wurde zwar die Gefahr von Überschwemmungen gebannt, die Beeinträchtigung der sonstigen Kanalisation durch Bodensenkungen, die Notwendigkeit, sie durch Pumpenstationen aufrechtzuerhalten, die ständigen Rohrbrüche mit den von ihnen ausgehenden Gefahren (z.B. durch Eindringen von Kloakenwasser in die ebenfalls durch Erdsenkungen undichten Trinkwasserrohre) bleiben als schwerwiegende Probleme aber bestehen.

Wie oben bereits erwähnt, reichten bis ins vorige Jahrhundert die zahllosen Quellen im Tal aus, die Stadt Mexiko ausreichend mit Trinkwasser zu versorgen. Mitte des vorigen Jahrhunderts jedoch war der Wasserbedarf der Stadt so gewachsen, daß auf andere Reserven zurückgegriffen werden mußte. Man begann mit dem Bau von Brunnen, bzw. Anfang dieses Jahrhunderts mit dem Bau von Pumpenstationen, die Grundwasser in hohen Mengen aus immer größeren Tiefen förderten.

Nachdem 1942, bedingt durch die Abspülung wasserspeichernder Schichten von den umliegenden Bergen sowie durch die der Entwässerung nachfolgenden Grundwasserabsenkung auch die letzten Quellen versiegt waren (Toksöz 1983, 13), begann man mit dem Bau einer neuen Wasserleitung, die der Stadt Wasser aus dem höher gelegenen Tal des Rio Lerma zuführen sollte.

Die ursprüngliche Planung, nur Quellwasser zu nutzen, erwies sich schon während der Bauzeit als undurchführbar. (4) Man ging daher sehr bald zur Grundwasserförderung über.

---

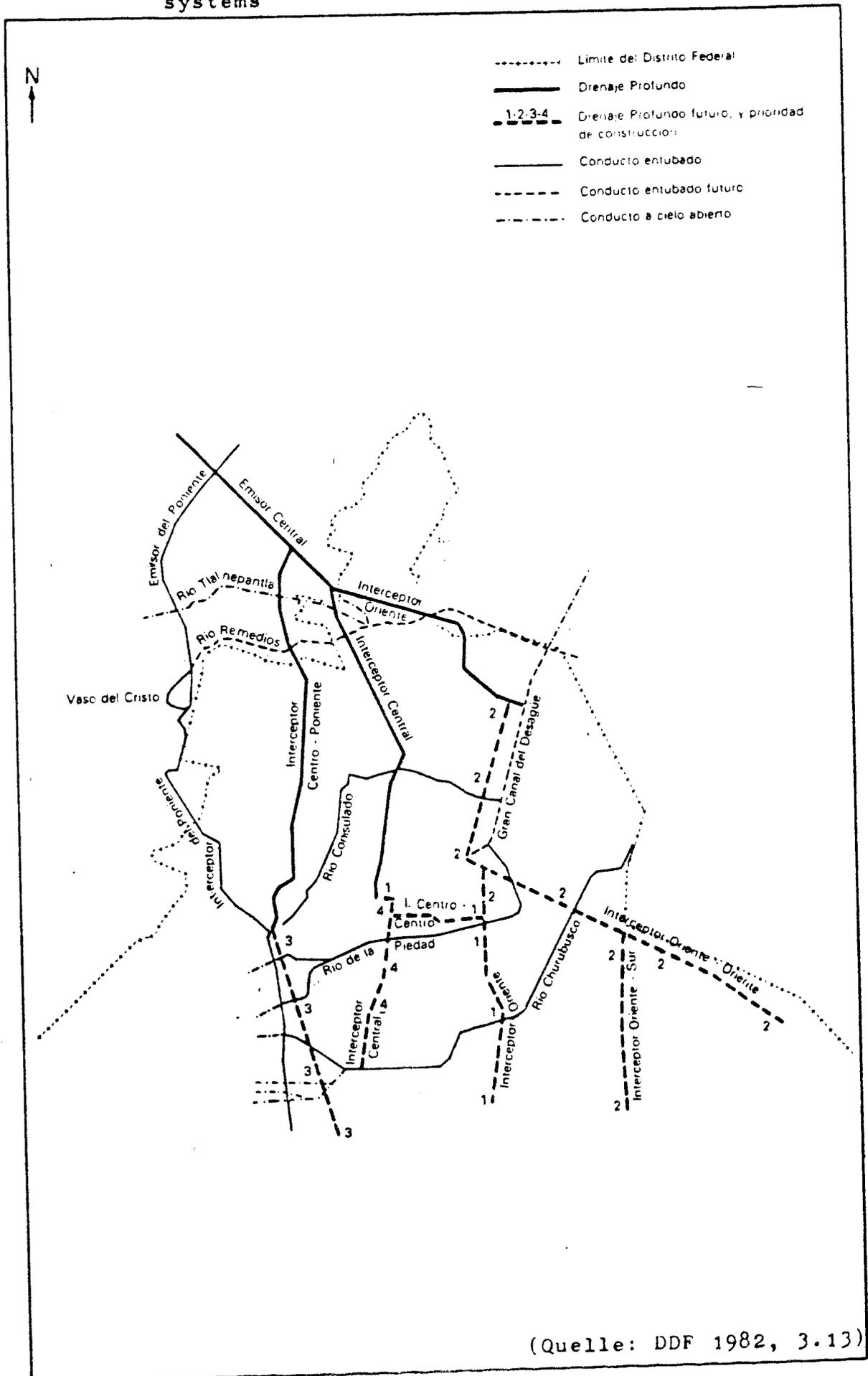
(1) Weitere 70 Anschluß-km wurden seitdem fertiggestellt bzw. sind im Bau oder in der Planung. (DDF 1982, 15.15)(Karte 23)

(2) Bei Guerrero V. (1981, 113), jedoch nur hier, findet sich der Hinweis: "The deep Drainage System... only carries rainwater..."

(3) Da die U-Bahn (versehentlich?) auf dem Niveau der bisherigen Hauptsammler gebaut worden war, müssen diese jetzt auf 12 - 18 m abgesenkt werden. (DDF 1982, 3.9)

(4) Da das obere Tal der Lerma erst sehr spät für die landwirtschaftliche Nutzung erschlossen wurde, begann erst kürzlich der der Umwandlung von Wald in landwirtschaftliche Fläche folgende Erosions- und Abschwemmungsprozeß, der wie im Tal von Mexiko auch hier zum Versiegen der Quellen führte. (Toksöz 1983, 15)

Karte 23: Entwicklung des tiefliegenden Kanalisations-systems



Die Warnungen, die bereits vor der Inbetriebnahme des Projekts ausgesprochen wurden (1), bewahrheiteten sich: Die Seen begannen auszutrocknen, die Förderung wurde immer teurer und auch Bodensenkungen traten auf. Heute ist die Wasserbilanz des Lerma-Tals negativ (1980 standen 1,46 Mrd m<sup>3</sup> Förderung nur 1,35 Mrd m<sup>3</sup> an Zuflüssen gegenüber), und der Untergrund von z.B. Toluca oder Ixtlahuaca ist in alarmierendem Maße gefährdet. (Toksöz 1983, 16)(2)

1982 begann man, allen negativen Erfahrungen zum Trotz, mit dem Import von Wasser aus dem Einzugsgebiet des tiefer gelegenen und mehr als 150 km entfernten Rio Cutzamala. (3)

"In den nächsten 20 Jahren wird es notwendig sein, Wasser aus weiteren Flußgebieten zu beschaffen; es ist möglich, daß zu Beginn des nächsten Jahrhunderts das Wasserversorgungssystem des D.F. das Becken von Oriental sowie die Flußgebiete des Amacuzac und Tecolutla umfaßt." (DDF 1982, 1.26) (Abb. 4)

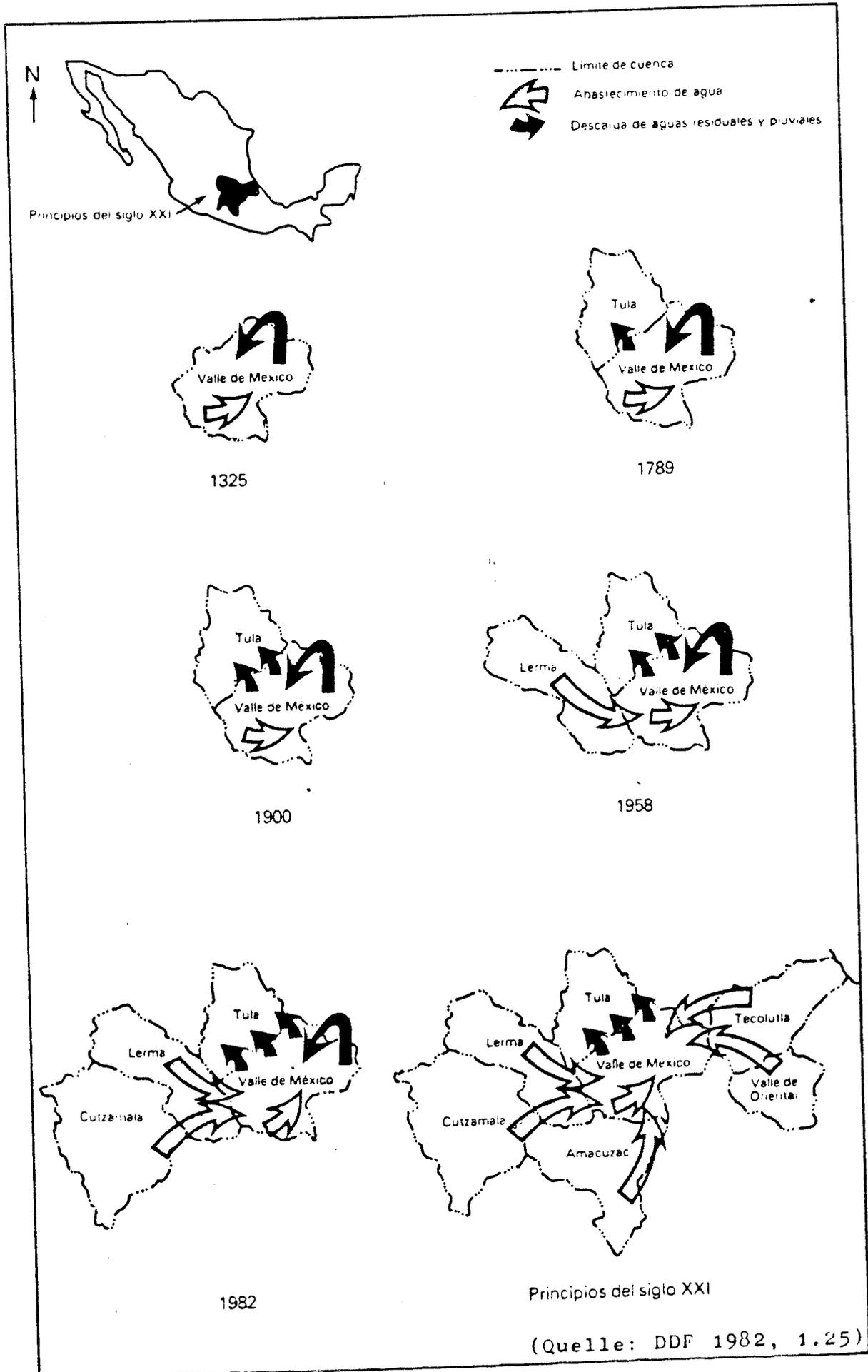
---

(1) "Das große Projekt, welches der Hauptstadt endgültig ausreichend Trink- und Nutzwasser zuführen sollte, wird durch die gänzliche Außerachtlassung der ursprünglichen Zusammenhänge illusorisch werden, indem nach seiner Betriebssetzung die Wahrscheinlichkeit besteht, daß während der Trockenzeit der versumpfte obere Teil des Lerma bei Toluca leerläuft, was die jetzt schon von Jahr zu Jahr abnehmende Menge, mit dem der Fluß dies Gebiet verläßt, anzeigt." (Wagner 1952, 166)

(2) Nachdem man 1978 damit begonnen hatte, auch die Elendsviertel mit Leitungswasser zu versorgen, stieg der Wasserbedarf natürlich stark an. Die entstehende Versorgungslücke deckte man durch weitere Ausbeutung des Grundwassers im Tal (es wurden 16 neue Brunnen niedergebracht und 275 bestehende wieder in Betrieb genommen bzw. technisch überholt) sowie durch verstärkte Importe aus dem Flußgebiet der oberen Lerma (dort wurden 20 weitere Brunnen gebohrt). (DDF 1982, 2.10)

(3) Um die geplanten 19 m<sup>3</sup>/s von dort heraufzupumpen, werden 6,5% der gesamten, derzeit im Land erzeugten Energie benötigt werden. (Salazar 1984)

Abb. 4: Entwicklung des wasserwirtschaftlichen Einzugsbereichs von Mexiko Stadt



#### 4. HYDROLOGISCHE GLIEDERUNG DES TALS VON MEXIKO

Das Tal von Mexiko besteht aus zwei ursprünglich voneinander unabhängigen Wassereinzugsgebieten, die aber inzwischen aufgrund von wasserbaulichen Maßnahmen als Einheit anzusehen sind. Bis heute jedoch scheinen die Grundwasserkörper der Zonen I - VIII und IX - XI gegeneinander abgeschlossen zu sein. (Karte 24).

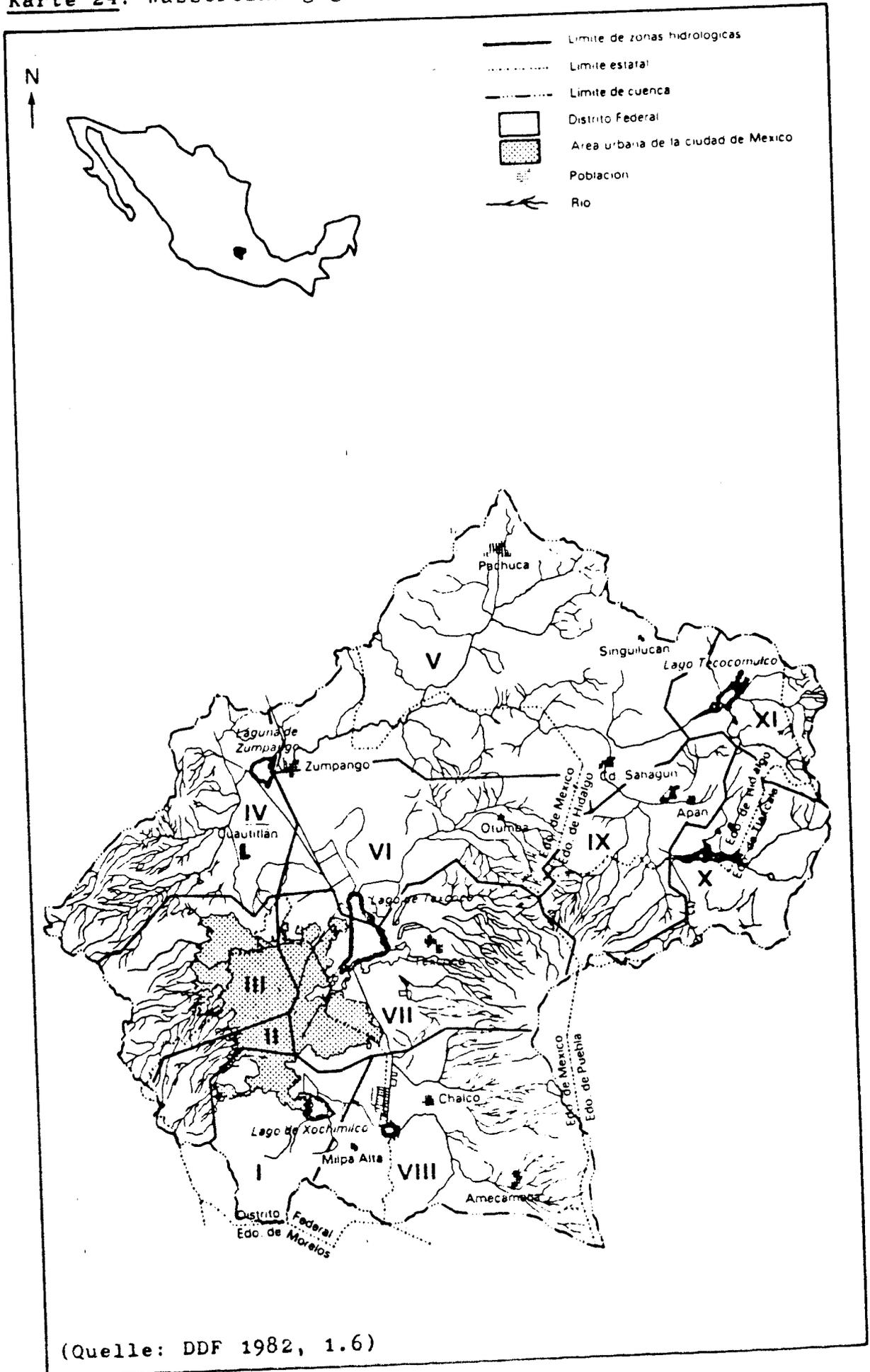
Die Flüsse aus der Sierra de Chichinautzin bilden die Zonen I und VIII; im äußersten Westen liegen die Ablußgebiete der Sierras de Tepetzotlán, Monte Bajo, Monte Alto und Las Cruces, die die Zonen II - IV bilden; von relativ geringer Bedeutung ist das Einzugsgebiet des Rio de las Avenidas de Pachuca der Zone V; in Zone VI und VII werden alle östlichen Zuflüsse zum Texcoco See zusammen gefaßt.

Zone IX umfaßt die Einzugsgebiete der Flüsse Tizar und Calpulalpan, Zone X alle Zuflüsse der Seen Tochac und Las Animas und Zone XI schließlich das Einzugsgebiet des Tecocomulco Sees. (SEDUE 1983, 25ff)

Tab. 4: Die hydrologischen Zonen im Tal von Mexiko und ihre wichtigsten Wasserläufe (Quelle: SEDUE 1983, 28/33)

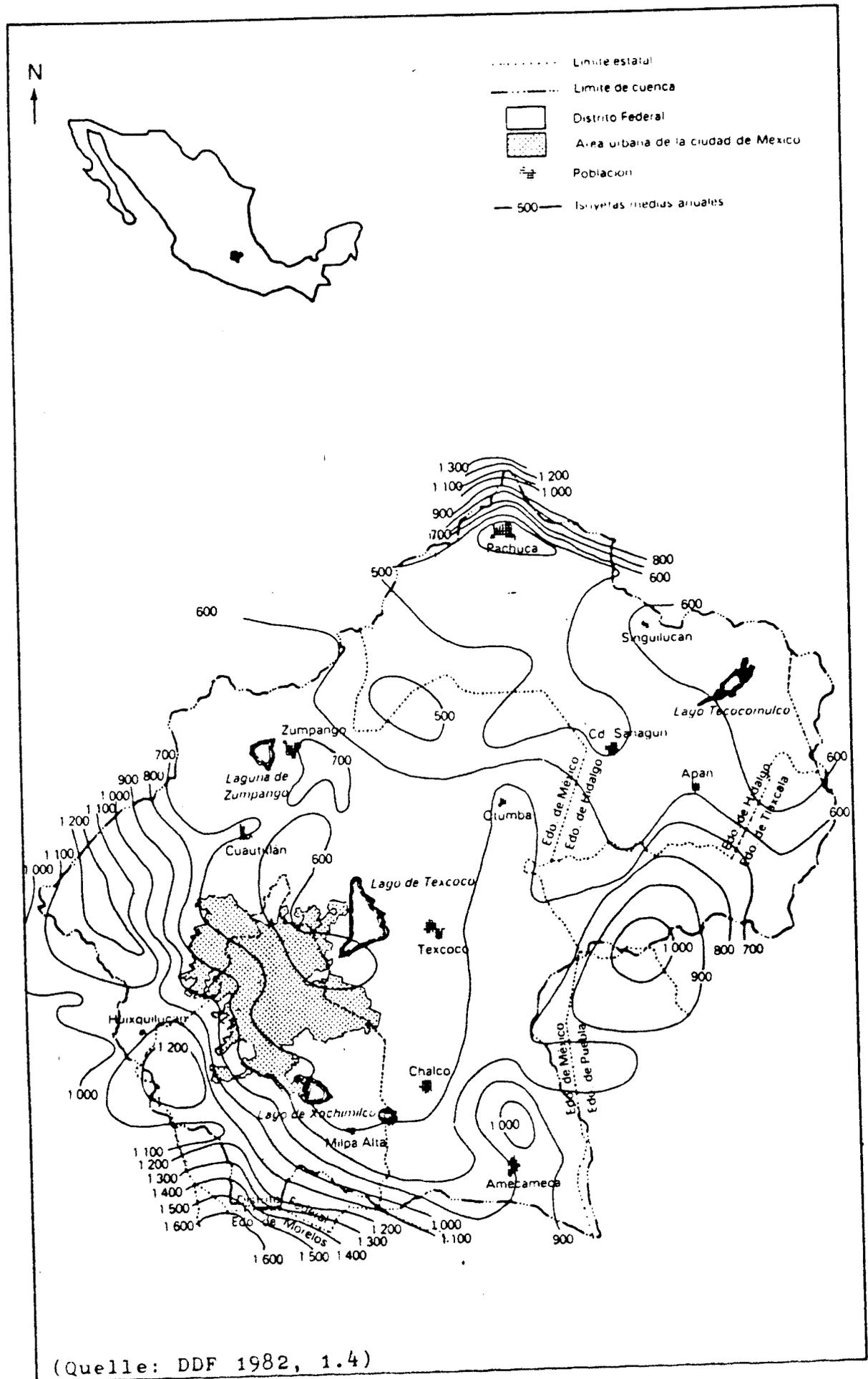
- I. Xochimilco (522 km<sup>2</sup>): San Gregorio, San Lucas, Santiago, San Buenaventura.
- II. Churubusco (234 km<sup>2</sup>): Eslava, Magdalena, Barranca Anzaldo, Texcalatlaco, Barranca Guadalupe, Mixcoac.
- III. Ciudad de Mexico (725 km<sup>2</sup>): Becerra, Tacubaya, Tecamachalco, San Joaquín, Tornillo, Canal Tornillo, Hondo, Los Cuartos, Totolica, Río Chico de los Remedios, Río Tlalnepantla, Río San Javier, Río Cuauhtepac.
- IV. Cuautitlan (972 km<sup>2</sup>): Río Cuautitlán, Río Tepetzotlán.
- V. Pacuca (2.087 km<sup>2</sup>): Avenidas de Pachuca.
- VI. Teotihuacan (930 km<sup>2</sup>): San Juan Teotihuacan.
- VII. Texcoco (1.146 km<sup>2</sup>): Papolotla, Xolapango, Coxcacoaco, Texcoco, Chapingo, San Bernardino, Santa Mónica, Coatepec.
- VIII. Chalco (1.124 km<sup>2</sup>): San Francisco, La Compañía, Amecameca, Zacualtitlac, Tenechcolux, Milpa Alta.
- IX. Apan (637 km<sup>2</sup>): Tizar, Calpulalpan.
- X. Tochac (690 km<sup>2</sup>): Barranca del Muerto, San José, Alimentadoras de las Animas.
- XI. Tecocomulco (533 km<sup>2</sup>): El Canal, Coatlaco y Laguna del Puerco, Alimentadoras Laguna Tecocomulco.

Karte 24: Wassereinzugsgebiete im Tal von Mexiko



(Quelle: DDF 1982, 1.6)

Karte 25: Niederschlagsverteilung im Tal von Mexiko



(Quelle: DDF 1982, 1.4)

#### 4.1 NIEDERSCHLÄGE

Tab. 5: Mittlere Jahresniederschläge im Tal von Mexiko (1920 - 1970)

Zone	Fläche in km <sup>2</sup>	Niederschläge	
		in Tsd.m <sup>3</sup>	in mm
I Xochimilco	522	465.102	891
II Churubusco	234	238.680	1.020
III Cd.de Mexico	725	632.200	872
IV Cuautitlan	972	766.908	789
V Pachuca	2.087	1.085.240	520
VI Teotihuacan	930	569.160	612
VII Texcoco	1.146	732.294	639
VIII Chalco	1.124	961.020	855
IX Apan	637	440.804	692
X Tochac	690	478.170	693
XI Tecocomulco	533	346.983	651
gesamt	9.600	6.716.561	700

(Quelle: DDF I 1975, 48)

Tab. 6: Mittlere Monatsniederschläge in Mexiko Stadt (1921 - 1945)(in mm)

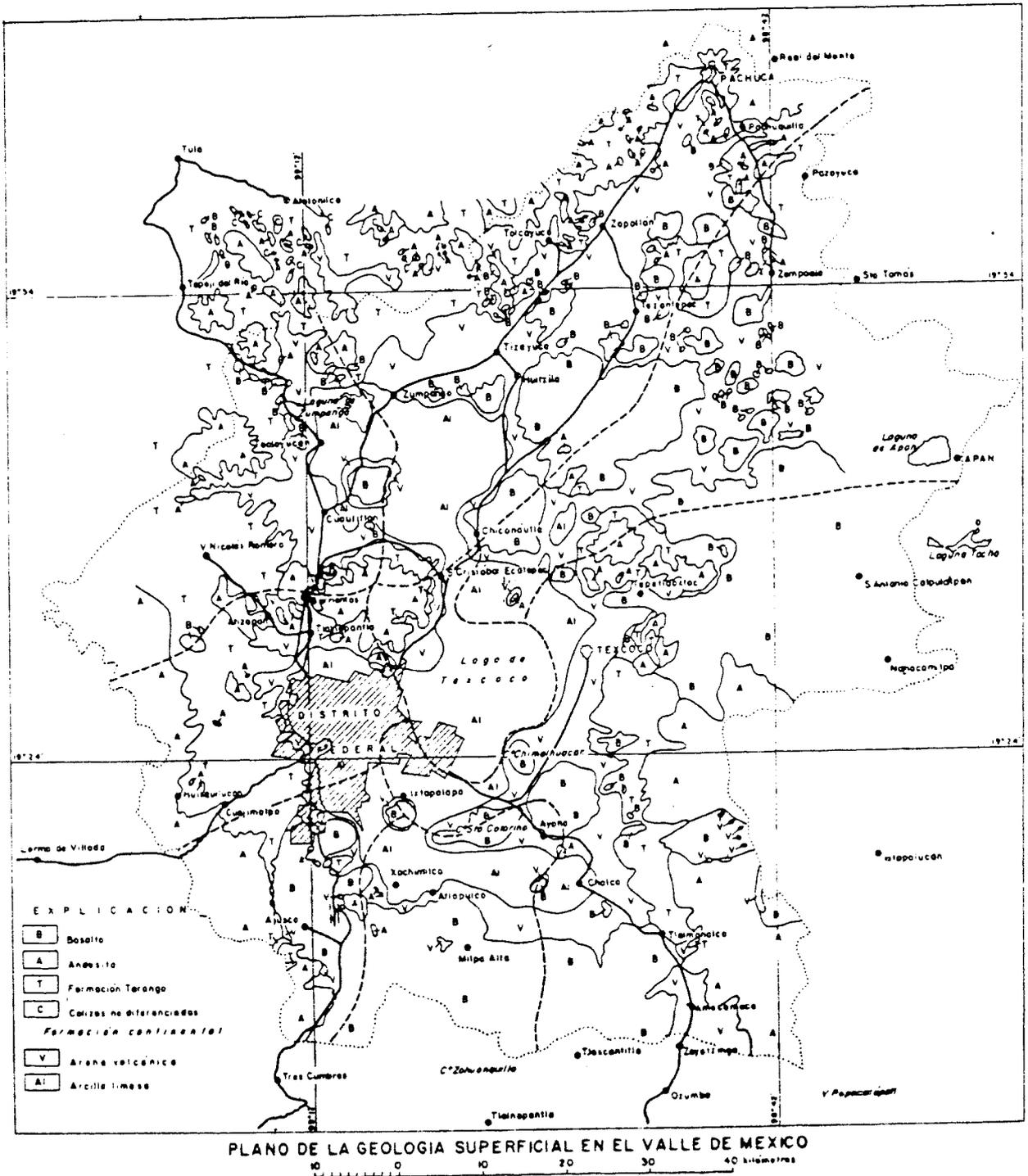
J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
13	5	10	20	53	120	170	152	130	51	18	8

(Quelle: Jauregui 1973a, 300)

Der mittlere Jahresniederschlag im Tal von Mexiko liegt bei ca. 700 mm mit einer Streubreite von 536 mm (1957) bis 1093 mm (1958). (Del Rio 1962, 52) 80 - 90% des Niederschlags fallen während der Regenzeit (SEDUE 1983, 22); Schauer mit mehr als 30 mm in 1/2 h sind durchaus keine Seltenheit. (DDF 1982, 13.11)

Jauregui und Klaus (1982, 279) wiesen einen seit den 50er Jahren sich verstärkenden Regenineffekt für die Stadtgebiete nach. Ein Vergleich ausgewählter Standorte im Tal ergab einen Wertzuwachs des Quotienten der Niederschlagsmengen einer innerstädtischen Station und eines ländlichen Standortes im Nordosten der Stadt von 1,1 Anfang der 50er Jahre auf 1,7 Ende der 70er. (Abb. 13)

Im Vergleich mit Meßstationen in Gebirgsluvlage wurde eine Annäherung der Niederschlagsmengen im innerstädtischen Bereich beobachtet. (Ebda)



Karte 26: Oberflächenformationen im Tal von Mexiko  
(Quelle: Molina Berbeyrer 1958)

#### 4.2 HYDROGEOLOGISCHE STRUKTUREN

Die geologischen Formationen im Tal von Mexiko interessieren an dieser Stelle insbesondere unter hydrogeologischen Aspekten: Zum einen können Erkenntnisse erhofft werden über die vorhandenen Grundwasserreserven, zum anderen läßt eine Bestimmung der Permeabilität Rückschlüsse zu auf die tatsächliche Grundwasserneubildung sowie auf Möglichkeiten künstlicher Infiltration.

Karte 26 stellt die Oberflächenformationen des eigentlichen Beckens dar, d.h. ohne die hydrologischen Zonen IX - XI. Folgende Strukturen lassen sich ausmachen:

Der größte Teil des Talbodens rund um die Hauptstadt besteht aus tonhaltigen Ablagerungen des Texcoco Sees (A1) und ist, sieht man von der anthropogen bedingten Perforierung ab, praktisch wasserundurchlässig. (Versickerungsfaktor: 0,01; Molina Berbeyer 1958, C.1)(1)

Der Rest des Talbodens, vor allem die (ehemaligen) Flußmündungen und -täler, besteht vorwiegend aus durchlässigen Sanden und Kiesen vulkanischen Ursprungs (V). (Versickerungsfaktor hier: 0,24; ebda) Die gleichen Formationen finden sich übrigens auch in weiten Teilen der auf Karte 26 nicht wiedergegebenen Zonen IX - XI. (Vgl. DDF IV 1975, Mapa Geologico...)

"Basalte gehören wegen ihres Hohlraumreichtums zu den besten Grundwasserleitern der Erde..." (Mattheß & Ubell 1983, 236) Sie herrschen vor besonders im Süden und Osten des Tales. Für sie wird der Versickerungskoeffizient mit 0,35 - 0,39 (Sainz Ortiz 1962, 69) oder sogar mit 0,5 (Molina B., a.a.O.) angegeben.

Die in Karte 26 mit A bezeichneten Andesiten und Daciten haben zwar eine ursprünglich geringe Nutzporosität, aufgrund von Brüchen und Verschiebungen wird jedoch für sie immer noch ein Versickerungsfaktor von 0,22 (Sainz a.a.O.) bzw. 0,15 (Molina a.a.O.) verzeichnet.

---

(1) "Üblicherweise wird die Durchsickerung  $R_L$  zum Niederschlag  $P$  in Beziehung gesetzt." (Mattheß & Ubell 1983, 373)

Die Formación Tarango (T) besteht vorwiegend aus pyroklastischen Ablagerungen. (DDF IV 1975, Mapa Geologico...) Ursprünglich ebenfalls weitgehend wasserundurchlässig, wird ihr Versickerungskoeffizient heute mit 0,24 (Sainz 1962, 69) bzw. 0,1 (Molina 1958, C.1) angegeben.

Für die Zonen IX - XI verzeichnet die geologische Karte (in DDF IV 1975) neben den bereits erwähnten Sanden und Kiesen vor allem Basalte und in geringerem Umfang auch Andesiten und pyroklastische Ablagerungen.

Eine systematische Beschreibung der vertikalen Schichtung des Beckenbodens liegt mir nicht vor.

Einen groben Überblick scheint Figueroa V. (1973, 532) mit seiner Abb. 6 geben zu wollen, der allerdings die Legende und damit der wesentliche Erklärungswert fehlt.

Darüber hinaus liegen mir noch einige geologische Schnitte vor (a.a.O., 527; Sainz 1962, anex.), die aber alle nicht zu lokalisieren sind.

So bleibt als exakteste Beschreibung die von Kehr (1958, 2):

"Der Talboden im Gebiet der Hauptstadt besteht aus den Ablagerungen des Texcoco-Sees. Im Untergrund der Stadt liegen, vom Westen nach Osten in ihrer Mächtigkeit zunehmend, feinkörnige Tone und vulkanische Aschen (Bentonite) in Wechsellagerung mit wasserführenden Sanden und Kiesen. Diese Bentonite vermögen ein Vielfaches ihrer Trockensubstanz unter Quellung an Wasser aufzunehmen."

Die Wände und der Boden des Beckens bestehen aus wasserundurchlässigen Andesiten und Daziten. Während alle anderen Quellen daher das Tal von Mexiko für völlig abflußlos erklären, behauptet DDF (1982, 1.7) eine Verbindung des Südteils mit dem Tal von Cuernavaca. (1)

#### 4.3 VERSICKERUNG

Für die hydrologischen Zonen finden sich bei SEDUE (1983, 33) folgende Versickerungskoeffizienten, die bei DDF I (1975, 59)

            
(1) Die in der geologischen Karte (in DDF IV 1975) verzeichneten tektonischen Verwerfungen würden diese Annahme untermauern.

in absolute Werte umgerechnet sind.

Tab. 7: Grundwassererneuerung im Tal von Mexiko (1920 - 70)

Zone:	I	II	III	IV	V	VI	VII	IX	X	XI	
Faktor:	29	15	10	19	18	14	15	25	16	13	21
Mio m <sup>3</sup> :	136	37	64	148	194	82	107	238	72	63	71

Im gesamten Tal gehen nach diesen Berechnungen 18% (1) der Niederschläge oder 1.213 Mio m<sup>3</sup> ins Grundwasser über.

Leider wird nicht mitgeteilt, wie diese Werte ermittelt wurden. (2) Da sie jedoch nicht wesentlich von den Werten bei Molina (1958) abweichen, ist eine vergleichbare Methode zu vermuten.

Molina (1958) gliedert die hydrologischen Zonen (3) gemäß ihrer geologischen Formationen, für die er jeweils spezifische Infiltrationsraten nennt. Zusammen mit den für die jeweilige Region bekannten Niederschlägen berechnet er daraus die Versickerungsmengen.

Die methodische Kritik hat bei den jeweiligen Infiltrationskoeffizienten anzusetzen. Es erscheint mir unzulässig, über das gesamte Tal gleiche Versickerungsraten anzunehmen, nur weil Gesteine zur gleichen Gruppe gehören.

Wie notwendig eine exakte Bestimmung von Durchlässigkeitswerten (4) ist, zeigt bereits der Blick in ein hydrologisches Lehrbuch: Die möglichen Werte z.B. für vulkanische Ablagerungen liegen zwischen 0,0003 und 3 m/Tag (Dunne & Leopold 1978, 206), wobei Werte über 0,6 m/Tag bereits als hoch gelten (Dyck & Peschke 1983, 266).

---

(1) Aus den Angaben einige Seiten später (SEDUE 1983, 40) ergäbe sich ein Infiltrationskoeffizient von 11%.

(2) Bei SEDUE (1983, 33) bezieht man sich auf Werte aus dem Jahre 1962, ohne jedoch die genaue Quelle zu nennen.

(3) Die hydrologischen Zonen bei Molina (1958) weichen z.T. erheblich von den o.g. Zonen neuerer Gliederung ab, so daß ein direkter Vergleich nicht möglich ist.

(4) "Die Permeabilität (Durchlässigkeit im engeren Sinne) ist eine gesteinspezifische Konstante..." (Hölting 1984, 97) Der 'Durchlässigkeitsbeiwert' ( $k_f$ ) gibt für das jeweilige Gestein die durchschnittliche Fließgeschwindigkeit von Wasser an.

Wie wenig gesichert die Werte bei Molina sind, zeigen schon die erheblichen Abweichungen bei Sainz.

Berücksichtigt man außerdem, daß z.B. die basaltischen Formationen vor allem an den Talrändern zu finden sind, daß dort aufgrund der fortgeschrittenen Erosion eine Überstauung, eine Wasserspeicherung in den oberen Bodenschichten kaum mehr möglich ist und die Niederschläge wegen des starken Gefälles daher schnell abfließen, daß im Winter die geringen Niederschläge vor Erreichen des Grundwassers verdunsten und daß im Sommer die Starkregen fast jede Infiltrationskapazität übersteigen, so erscheint mir die Annahme, 50% der Niederschläge würden den Grundwasserspiegel erreichen, als überhöht. (Vgl. auch Hölting 1984, 58)

Da für Kluftgesteine Durchlässigkeitswerte ohne genauere Untersuchungen nicht einmal größenordnungsmäßig angegeben werden können, dürfen allgemeine Schätzwerte zur Überprüfung der von Molina für die Andesite und die Formation Torango angegebenen Werte nicht herangezogen werden.

Die angegebenen Werte für die anderen Formationen scheinen zwar realistisch, jedoch gilt auch hier die grundsätzliche Kritik an der Pauschalisierung allein aufgrund von Gruppenzugehörigkeit.

Für die heutige Situation ist darüber hinaus zu berücksichtigen, daß die Stadt sich inzwischen sehr weit ausgedehnt hat und daß somit eine zunehmende Versiegelung bisher durchlässiger Flächen in die Berechnungen mit einbezogen werden muß.

#### 4.4 ABFLUSS

Es gibt, sieht man von den bisher nur ungenügend erforschten und in ihrer Existenz strittigen unterirdischen Verbindungen einmal ab, keine natürlichen Abflüsse aus dem Tal. Sämtliche Niederschläge, soweit sie nicht wieder verdunsten, stehen somit der wasserwirtschaftlichen Erfassung zur Verfügung.

Da, wie oben dargestellt, aufgrund anthropogen bedingter Umweltveränderungen, die frühere, für den Wasserhaushalt des Tales so wichtige Bodenfeuchtespeicherung und der langsame Zwischenabfluß oberhalb der Grundwasserzone immer mehr beein-

trächtig wurden, strömten nun ein Großteil der Regenfälle sofort ins Tal und führten dort zu Überschwemmungen.

Unter großen Anstrengungen wurden daher künstliche Vorfluter erbaut, über die Regen- und Abwässer aus dem Tal geleitet werden sollten.

Für die Jahre 1952 - 68 sind die jährlichen Durchflußwerte für den Nochistongo-Kanal und die beiden Tequixquiac-Tunnel bei DDF I (1975, 59) veröffentlicht. Die Einzelwerte schwanken erheblich: von 1 bis 157 Mio m<sup>3</sup> für den Kanal, von 4 bis 457 Mio m<sup>3</sup> für den alten und von 21 bis 683 Mio m<sup>3</sup> für den neuen Tunnel. Vermutlich sind diese Schwankungen auf zeitweise Sperrungen bei Reparaturen o.ä. zurückzuführen, denn die jeweiligen Jahressummen sind erheblich ausgeglichener. Deren Schwankungen hängen zum einen ab vom Wasserdargebot aufgrund natürlicher Niederschlagsänderungen, zum anderen aber auch von den unterschiedlichen Wasserimporten aus benachbarten Regionen.

Für die Jahre 1952 - 60 errechnet sich aus diesen Angaben ein durchschnittlicher Gesamtabfluß von 582 Mio m<sup>3</sup>/Jahr, in den Jahren 1961 - 68 flossen im Mittel jährlich 621 Mio m<sup>3</sup> ab.

Heute sind es nach SEDUE (1983, 40) durchschnittlich 46 m<sup>3</sup>/s ( $\hat{=}$  1,45 Mrd m<sup>3</sup>/Jahr), die über die inzwischen 4 künstlichen Vorfluter aus dem Tal herausgeleitet werden.

#### 4.5 VERDUNSTUNG

"Ein beträchtlicher Teil des Niederschlags... geht früher oder später in Wasserdampf über, ohne am Wasserkreislauf über oder unter der Erde teilzunehmen." (Hölting 1984, 16)

Die quantitative Erfassung der Verdunstung (1) stellt bis heute ein Problem dar, da der turbulente Massentransport von Wasserdampf bisher nicht direkt bestimmt werden kann. (Dyck & Peschke 1983, 119) Allerdings sind verschiedene indirekte Berech-

---

(1) Üblicherweise wird in der Literatur unterschieden zwischen Evaporation (Bodenverdunstung) und Transpiration (Pflanzenverdunstung). Diese Unterscheidung machen die mir vorliegenden Studien zum Wasserhaushalt im Tal von Mexiko nicht.

nungs- und Meßmethoden bekannt. (Vgl. z.B. a.a.O., 119ff; Hölting 1984, 19ff u.a.m.)

Ob, bzw. wie die Verdunstung im Tal von Mexiko gemessen wird, ist mir nicht bekannt. In der gesamten vorliegenden Literatur findet sich kein Hinweis auf entsprechende Methoden, so daß es als wahrscheinlich gelten kann, daß sie nur aus der Differenz von Niederschlag und Abfluß errechnet wurde.

In allen mir vorliegenden Quellen wird die Verdunstung im Tal übereinstimmend mit  $171 \text{ m}^3/\text{s}$  angegeben, umgerechnet also  $562 \text{ mm/Jahr}$  oder  $80\%$  der Niederschläge.

#### 4.6 WASSERIMPORTE UND GRUNDWASSERFÖRDERUNG

Weitere, den Wasserhaushalt im Tal beeinflussende Faktoren sind die Wasserimporte aus den umliegenden Flußgebieten sowie die Grundwasserförderung.

Anfang der 50er Jahre begann man, wie oben dargestellt, mit Wasserimporten aus dem Lerma-Tal. Während die in den Bundesdistrikt gelieferten Mengen bis 1966 durchschnittlich bei  $4 - 5 \text{ m}^3/\text{s}$  lagen, stiegen sie Ende der 60er Jahre auf über  $12 \text{ m}^3/\text{s}$ , um nach 1975 wieder auf ca.  $8 \text{ m}^3/\text{s}$  abzufallen. (DDF 1982, 2.12)

1982 wurde als weiteres Wasserreservoir das Cutzamala-Tal erschlossen, aus dem heute  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  (DDF 1982, 2.15 (1):  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ ) nach Mexiko Stadt importiert werden.

Der gesamte Wasserimport beträgt heute nach Acosta Lara (1982, 38)  $15,5 \text{ m}^3/\text{s}$  (a.a.O., 37:  $15,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ), nach DDF (1982, 1.11) und SEDUE (1983; 40)  $15 \text{ m}^3/\text{s}$ , nach DDF (1982, 2.15)(1) aber nur durchschnittlich  $11,4 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Von dem in den 60er Jahren im Bundesdistrikt verbrauchten Wasser waren ca.  $13 \text{ m}^3/\text{s}$  Grundwasser. Mit verstärktem Brunnenbau Anfang der 70er Jahre stieg die Grundwasserförderung auf über  $18 \text{ m}^3/\text{s}$ . Zusätzlich wurde 1973 eine bundesstaatliche Institution gegründet, die aus anderen neu niedergebrachten Brunnen im Süden und Norden

---

(1) Wahrscheinlich beziehen sich die Angaben bei DDF (1982, 2.15) nur auf den Wasserhaushalt des Bundesdistrikts.

des Tals nach und nach weitere  $11 \text{ m}^3/\text{s}$  Grundwasser für die Versorgung des D.F. bereitstellte. (DDF 1982, 1.17/2.12/2.15)

Heute werden nach Acosta L. (1982, 37) durchschnittlich  $41,2 \text{ m}^3/\text{s}$ , nach DDF (1982, 1.11) und SEDUE (1983, 40)  $40 \text{ m}^3/\text{s}$  und nach DDF (1982, 2.15)(1)  $27,8 \text{ m}^3/\text{s}$  Grundwasser gefördert.

Unabhängig von den unterschiedlichen Angaben läßt sich jedoch in allen Fällen eine erhebliche Grundwasserüberförderung errechnen, auf die weiter unten noch gesondert eingegangen wird.

Eine verhältnismäßig geringe Rolle in der Wasserbilanz des Tales spielt heute die Nutzung von Quell- und Oberflächenwasser (Acosta 1982, 38:  $4,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ; SEDUE 1983, 40:  $3 \text{ m}^3/\text{s}$ ; DDF 1982, 2.15 (1):  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ), von aufbereitetem Wasser für industrielle und Bewässerungszwecke (Acosta a.a.O.:  $3,8 \text{ m}^3/\text{s}$ ; SEDUE a.a.O.:  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ ) und von ungereinigtem Bewässerungswasser (Acosta a.a.O.:  $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ; SEDUE a.a.O.:  $8 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

#### 4.7 BEWERTUNG DER WASSERBILANZ

Das Wasserdargebot für den D.F. hat sich, wie oben dargestellt, seit Mitte der 60er Jahre um ca.  $725 \text{ Mio m}^3/\text{Jahr}$  ( $23 \text{ m}^3/\text{s}$ ) erhöht.

Der Abwasseranteil, wie er beim Abfluß aus dem Tal in den Vorflutern gemessen wird, erhöhte sich von ca.  $600 \text{ Mio m}^3/\text{Jahr}$  ( $19 \text{ m}^3/\text{s}$ ) Anfang der 60er Jahre (DDF I 1975, 59) auf heute über  $1,45 \text{ Mrd m}^3/\text{Jahr}$  ( $46 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Wird unterstellt, daß die Differenz zwischen Abfluß- und Dargebotserhöhung auf die möglicherweise unterschiedlichen regionalen Bezugsgrößen zurückzuführen ist, so ergibt sich, daß das neu erschlossene Wasser nach Nutzung vollständig aus dem Tal herausgebracht wird.

Anderenfalls könnte der im Vergleich zum Wasserdargebot um  $125 \text{ Mio m}^3/\text{Jahr}$  ( $4 \text{ m}^3/\text{s}$ ) stärker gestiegene Abfluß damit erklärt werden, daß die Infiltrationsrate gesunken ist und sich damit der Oberflächenabfluß erhöht hat. Denn durch das Wachstum der Stadt werden immer mehr ehemals durchlässige Flächen versiegelt. Darüber hinaus führt das zunehmende Baumsterben (wahrscheinlich bedingt durch den  
(1) Vgl. Fn.1 vorige Seite.

photochemischen Smog) zu einer immer weiter fortschreitenden Erosion (1), infolge derer das Rückhaltevermögen der oberen Bodenschichten, die Überstauung und schließlich die Versickerung sinken.

Schließlich müßte untersucht werden, ob die Kanalisation, vor allem die Drenaje Profundo, nicht auch eine wesentliche eigene Drainagewirkung hat.

Einen zusammenfassenden Überblick über die aktuelle Wasserbilanz, wie sie von zwei verschiedenen Verfassern aufgestellt wurde, geben die Abb. 9 und 10.

In den wesentlichen Aussagen unterscheiden sie sich nur graduell. Insbesondere sind sie sich einig darin, daß die Grundwasserförderung die Neubildung weit überschreitet. Entscheidende Unterschiede lassen sich jedoch in den Aussagen zur Wasserreinigung (2 bzw.  $3,8 \text{ m}^3/\text{s}$ ) und zur Verwendung städtischer Abwässer zur Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen im Tal (8 bzw.  $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) feststellen.

Unklar bleibt in beiden Abb., was mit den  $29,4$  bzw.  $28 \text{ m}^3/\text{s}$  geschieht, die als Verbrauch ausgewiesen sind bzw. errechnet werden können. (2)

Der größte Teil muß wohl als Verdunstungsverlust angesehen werden. Im Bereich der Landwirtschaft, aber auch im öffentlichen Sektor kann jedoch damit gerechnet werden, daß ein Teil des gelieferten Wassers (Bewässerungswasser, Verluste durch Rohrbrüche usw.) ins Grundwasser zurück sickert.

---

(1) Diese privaten Beobachtungen kann ich weder quantifizieren noch literaturmäßig belegen. U.S.

(2)  $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$  wirklicher Verbrauch durch die Industrie in Abb. 10 oder  $8,8\%$  des sektoralen Wasserverbrauchs erscheinen mir, insbesondere im Vergleich mit Tab. 10, als zu niedrig.

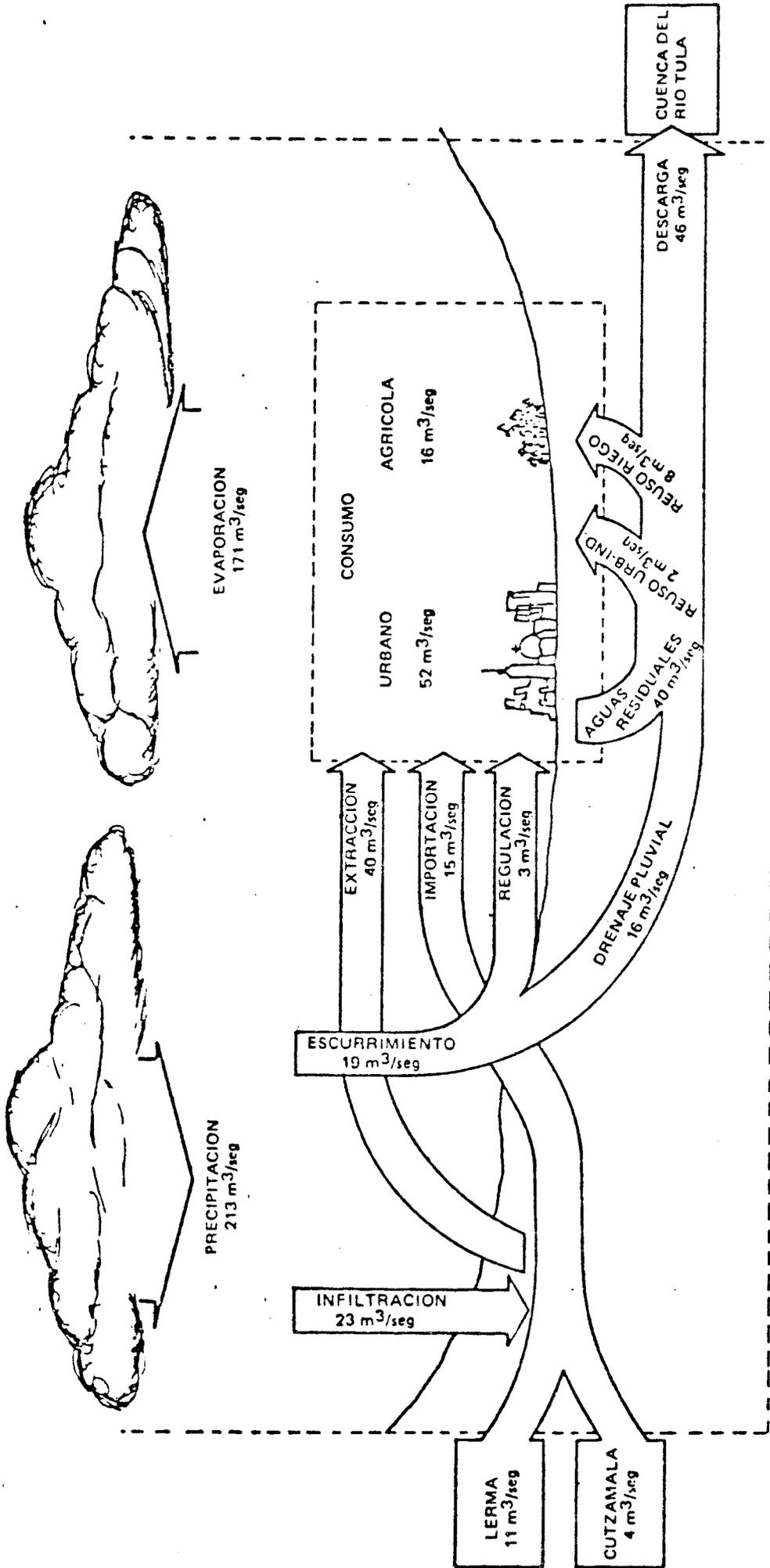
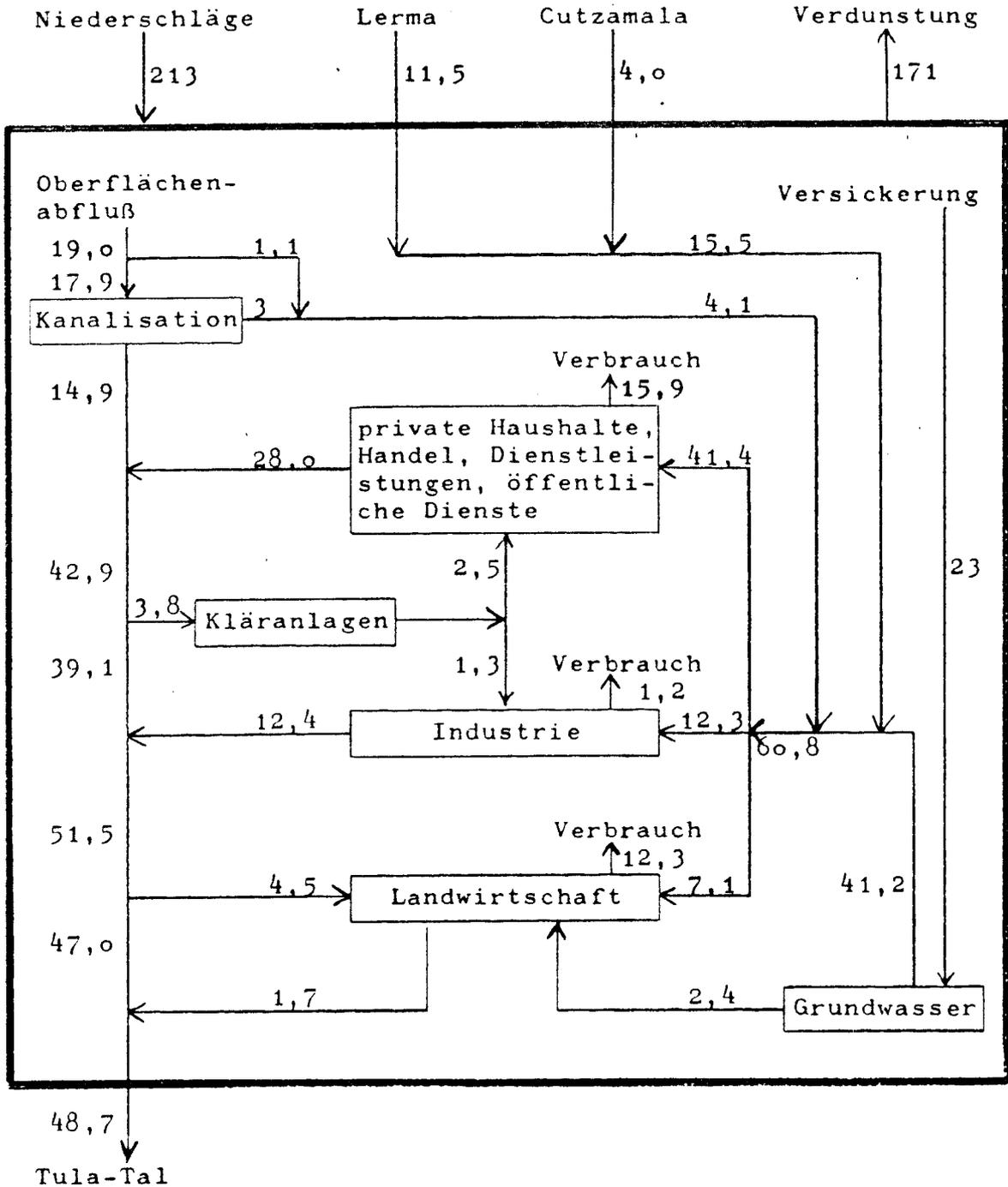


Abb. '9:  
BALANCE HIDROLOGICO  
EN EL VALLE DE MEXICO  
(Quelle: SEDUE 1983, 40)

Abb. 10: Wasserbilanz im Tal von Mexiko (1982)



(Angaben in  $\text{m}^3/\text{s}$ ; Quelle: Acosta Lara 1982, 38; übersetzt und verbessert)