

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

LA REACCION DEL SUELO EN LA REGION
ATLIXCO-SAN MARTIN TEXMELUCAN, PUE.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
LICENCIADO EN GEOGRAFIA
P R E S E N T A
LUIS FUENTES AGUILAR

1 9 6 8



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO

- I. INTRODUCCION
- II. ASPECTOS GEOLOGICOS GENERALES DE LA ZONA
- III. HIDROGRAFIA
- IV. MORFOLOGIA DE LA REGION
- V. CLIMA
- VI. SUELOS DE LA REGION
- VII. LA SOLUCION DEL SUELO
- VIII. CONCEPTO DE pH
- IX. INFLUENCIA DE LA REACCIÓN DEL SUELO EN LA
NUTRICION DE LAS PLANTAS.
- X. DETERMINACION DE LA REACCION DEL SUELO
- XI. SUELOS PROBLEMA DE LA REGION
- XII. REHABILITACION DE LOS SUELOS PROBLEMA
- XIII. CONCLUSIONES
- XIV. BIBLIOGRAFIA

I.- INTRODUCCION.

El presente trabajo tiene por objeto hacer resaltar la gran influencia que tiene la reacción del suelo, en el aprovechamiento de los nutrientes por las plantas en una región dada. La concentración de nutrientes que podrían ser suficientes para el desarrollo de las plantas a un determinado grado de acidez, puede resultar insuficiente a un pH distinto.

En cualquier estudio sobre fertilización, debe de corregirse como primer paso la reacción del suelo y una vez hecho esto, entonces suplir las deficiencias de nutrientes que se presenten.

La reacción del suelo ha sido subestimada, aun cuando en cualquier análisis químico de suelos que se realice se determina dicha reacción.

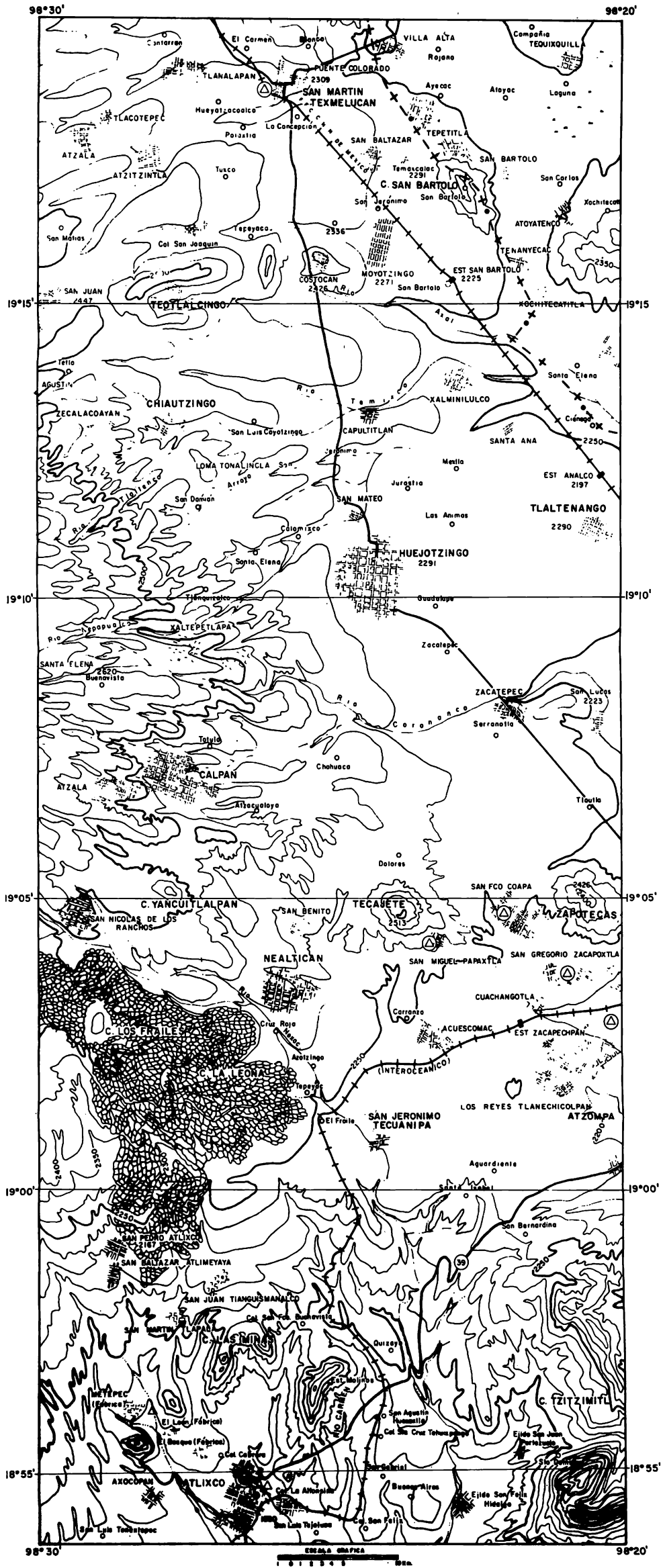
Como existen fertilizantes de reacción alcalina y de reacción ácida, el conocimiento previo del pH del suelo, permite seleccionar el fertilizante más adecuado para evitar estados extremos de alcalinidad o de acidez, o bien para reducir tales extremos.

En los fenómenos de solubilización y retrogradación de los elementos nutrientes y en la multiplicación de la flora microbiana del suelo, a cuya acción se atribuyen importantes reacciones bioquímicas que permiten el mejor aprovechamiento de los nutrientes, la reacción del suelo es un factor determinante.

Este estudio se realizó sobre la región Atlixco-San Martín Texmelucan, Pue., la cual está situada casi en su totalidad dentro de la parte occidental del Valle de Puebla, entre los paralelos 18°55' y 19°18' latitud norte y entre los 98°20' y 98°30' longitud oeste del meridiano de Greenwich.

REGION ATLIXCO - SAN MARTIN TEXMELUCAN, PUEBLA

MAPA FISICO



II.- ASPECTOS GEOLOGICOS GENERALES DE LA ZONA.

Las rocas más antiguas del Estado de Puebla proceden de la era azoica a juzgar por el macizo arcaico compuesto de rocas gneissicograníticas descubiertas en algunos lugares de la Mixteca Baja que abarcan la zona sur de Puebla y parte del Estado de Oaxaca.

Durante la era primaria o paleozoica, fuerzas expansivas interiores ocasionaron levantamientos sucesivos que dieron lugar a la formación de capas sedimentarias, hasta el período jurásico de la era secundaria o mesozoica en que predominan los terrenos calcáreos, por el extenso mar que cubrió la región dando por resultado la formación de calizas del cretácico.

Indudablemente algunas porciones de ese mar formaron los lagos en que estuvieron hundidos los hoy valles calizos de Tehuacán, Matamoros y Chiautla, y Acatlán, escurriéndose después por las depresiones que hoy forman las cuencas de los ríos Tehuacán, Hondo y Salado.

Durante el mioceno y plioceno de la era terciaria o cenozoica empezaron a manifestarse las actividades volcánicas producto del afallamiento que dió origen al Popocatepetl e Iztaccíhuatl, junto con las demás alturas que forman la Sierra Nevada al oeste, la Malinche al centro y el Citlaltépetl al este del Estado, levantando la meseta y encerrando entre ellas, un gran lago cuyas aguas se escurrieron hacia las partes más bajas y próximas, yendo a depositarse en los valles de Atlixco, Tepeaca y Valsequillo. Al salir las aguas de estos valles y del valle de Puebla, abrió las cuencas del Atoyac y del Nexapa, ahondando la cuenca del Balsas formada antes por las corrientes del Mixteco y del Tlapaneco. La porción de agua que no pudo salir por el hoy valle de Chalchicomula, quedó estancada en una concavidad que después se unió a Tehuacán por la Cañada de Mo

relas y con otras corrientes que llevan sus aguas al Golfo.

Durante los períodos mioceno y plioceno de la era cenozoica, se desarrollaron con gran intensidad las actividades volcánicas originándose el valle de Puebla que forma una faja de 40 kilómetros de ancho; aproximadamente, de norte a sur y extendida longitudinalmente de este a oeste entre las sierras donde se levantan los volcanes Citlaltépetl y Popocatepetl, en que los fenómenos volcánicos se manifiestan claramente.

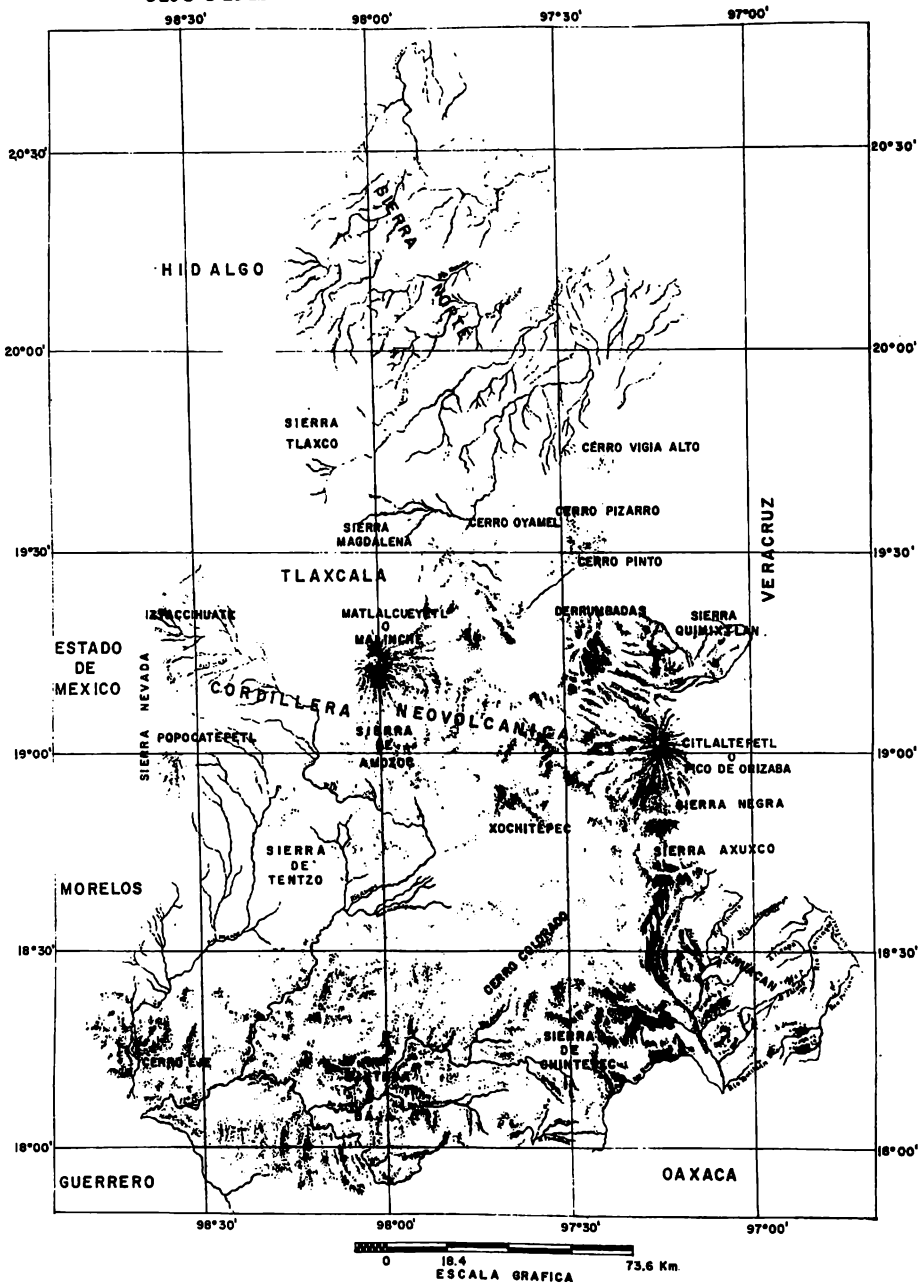
Las inmensas chimeneas de esos elevados volcanes, hacen suponer que proceden de un gran tronco ígneo y se ramifican diversamente abriéndose paso entre las capas inferiores y dividiéndose en varios conductos, cuyas aberturas se hallan próximas en las zonas que constituyen la Cordillera Neovolcánica a lo largo de la zona de la fractura Clarión.

Los derrames eruptivos del Popocatepetl formaron una eminencia de basalto y toba volcánica llamada malpaís en los límites de Nealtican y Atlixco. Cerca del Malpaís hay algunas alturas cónicas como el Tecajete y el cerro Zapotecas que son pequeños conos volcánicos. En los límites con Tlaxcala está la montaña Matlalcueyetl o Malinche, de origen volcánico y en cuya falda se encuentra un pequeño cerro llamado Temazcalito considerado como adventicio de la Malinche.

En la llanura de San Andrés Chalchicomula, casi al pie del Citlaltépetl existen unas oquedades que fueron cráteres de pequeños volcanes llamados axalapascos si contienen agua, o xalapascos si en el fondo solo contienen arena. No lejos de estas cavidades están las eminencias volcánicas conocidas con el nombre de Las Derrumbadas a cuyo pie se abre una solfatara llamada Los Humeros que exhala gases sulfurosos.

Entre San Martín Texmelucan y Atlixco, es evidente la acción volcánica a que estuvo sujeta esta región, encontrándose productos piroclásticos como cenizas, lapilli,

OROGRAFIA DEL ESTADO DE PUEBLA



arenas y tobas, cuyos depósitos forman el grueso mineral de los suelos. El malpaís que está entre los linderos de Nealtican y Atlixco es de material basáltico procedente de la emisión de la última actividad volcánica del Popocatepetl, y en algunas partes de los valles de Atlixco, Tepeaca y Matamoros afloran rocas calizas del cretácico.

III.- HIDROGRAFIA.

La región que nos ocupa está regada por tributarios del río Atoyac que tienen su nacimiento cerca del límite de los Estados de México y Puebla, en la vertiente oriental de la Sierra Nevada; siendo ellos : Río Frío ó San Martín, Tejac, Tepatlaxco, Axal, río Tlaltenco que se une al río Temixco cerca de Capultitlán, río Nepapualco que riega la parte norte de Huejotzingo, río Coronanco y el Nexac que bordea el malpaís de Nealtican y se dirige hacia la parte sur del valle.

En el recorrido de estos ríos, afluentes del Atoyac, que es aproximadamente de noroeste a sureste, por el valle de Puebla, reciben un sinnúmero de pequeños tributarios por ambas márgenes, siendo los más, los que bajan de la Sierra Nevada.

La parte oriental de la Cuenca Alta del río Atoyac, recibe corrientes tanto del Estado de Puebla como del de Tlaxcala. Las primeras se forman en las estribaciones de la Malinche y la Sierra de Amozoc; las segundas en la de Tlaxco, estribaciones del noreste de la Sierra Nevada y zona noroeste de la Malinche. Como principales afluentes del Atoyac en esta parte, tenemos los ríos: Coltzingo, Atotonilco, Ajejela, Jilotepec y Zahuapan del Estado de Tlaxcala, y los ríos: San Jerónimo, San Francisco, Xonaca y Alseseca del Estado de Puebla; siendo el principal de todos el Zahuapan cuya cuenca es de una extensión considerable.

En la parte occidental del valle de Puebla se levanta la Sierra Nevada con sus principales elevaciones el Iztaccíhuatl y el Popocatepetl. Al norte del Iztaccíhuatl siguen otras montañas de menor altura como los cerros : Papayo, Tlaloc y Telapón. Esta parte de la Cuenca Alta del Atoyac, es la más escabrosa, pues en ellas se forman un sinnúmero de talwegs, hondonadas y gargantas entre un conjunto irregular de prominencias rocosas. Las barrancas de esta parte de la Sierra Nevada, tienen pendientes sumamente

fuertes, las cuales en tramos relativamente cortos, disminuyen con rapidez hacia el valle.

El valle de Puebla queda limitado al noreste por la Malinche con su cumbre rocosa y flancos muy pendientes, aún cuando menos escabrosos que los del Iztaccíhuatl. En él también se forman muchos talwegs y barrancas, parte de las cuales desaguan en el valle. Al este, la sierra caliza de Amozoc se encarga de limitar al valle.

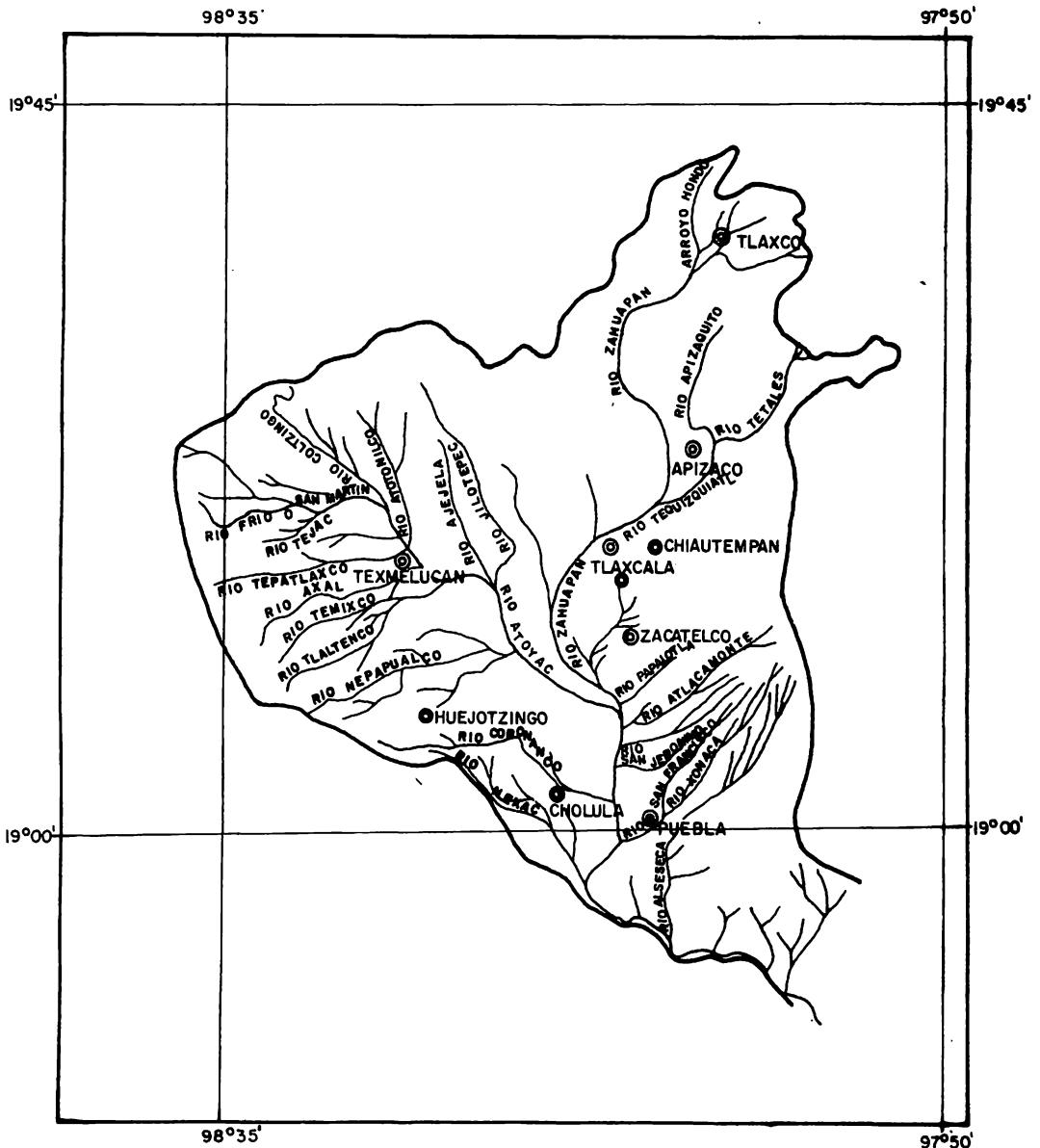
Entre estas sierras queda comprendida la llamada Cuenca Alta del río Atoyac, con un declive orientado de noroeste a sureste, con un brazo que baja del noreste, la cuenca del río Zahuapan, para unirse al río Atoyac al sur de Zacatelco.

En la región de San Martín Texmelucan, Huejotzingo y Cholula, el declive es suave hacia el este sureste, con ligeras ondulaciones, en donde pueden verse algunas alturas de poca importancia como los cerros de Teotlalcingo y Coxtocan.

La Cuenca Alta del Atoyac es más extensa y uniforme en la parte norte, pues los tributarios bajan al pie de la sierra de Tlaxco a lo largo de la margen derecha del río Zahuapan. En este mismo lado, en la región de la ciudad de Puebla, el terreno sube suavemente hacia las faldas de la Malinche, aunque el declive se hace más fuerte hacia el sur, donde el Atoyac corre al pie de la prolongación de la Sierra de Tentzo que está en su margen derecha y después, sigue junto a esta misma sierra que lo obliga a correr con una dirección sureste hasta la región del Molcaxac, donde encuentra salida y cambia su curso bruscamente de dirección, hacia el suroeste, siguiendo con este mismo rumbo para el Estado de Guerrero.

La parte de la Cuenca Alta del Atoyac comprendida en el Estado de Tlaxcala abarca el pequeño valle de Tlaxcala y las sierritas que lo rodean. En la parte occidental de la Malinche, el valle de Puebla se une con la meseta de Tlaxcala, subiendo el terreno suavemente hacia el norte hasta la región de Apizaco; esta parte está atravesada por

ESQUEMA DE LA CUENCA ALTA DEL RIO ATOYAC



las barrancas que bajan de las cercanías de Zacatelco. De Apizaco en adelante, se extiende la planicie de Tlaxcala hasta encontrar la sierra de Tlaxco que destaca perfectamente al norte con sus crestas desgarradas.

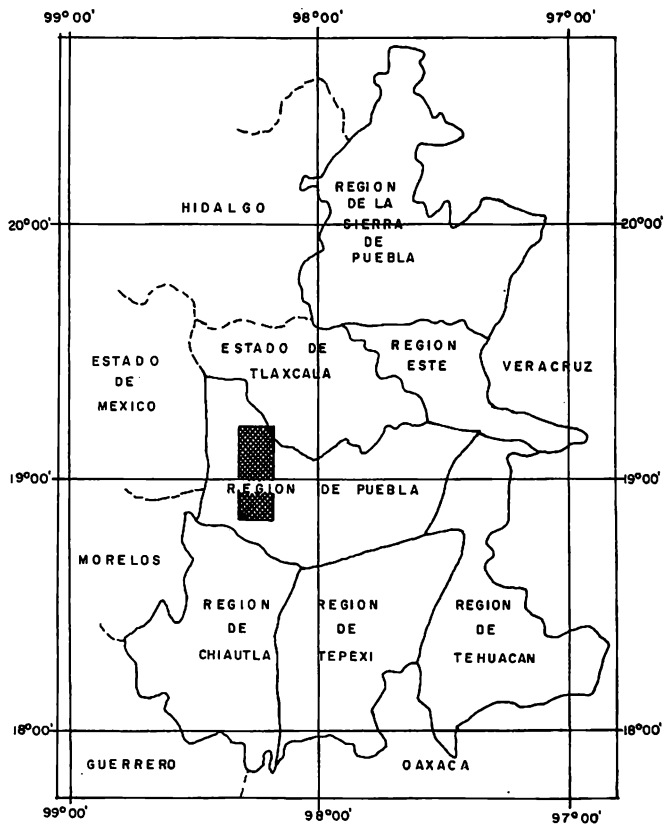
Estos ríos que forman la Cuenca Alta del río Atoyac, riegan por medio de canales y acequias los terrenos adyacentes, asegurando fructíferas cosechas que contrastan con las obtenidas en terrenos de temporal.

IV.- MORFOLOGIA DE LA REGION.

Dentro de las regiones naturales del Estado de Puebla, la zona en estudio está localizada en la parte occidental de la llamada Región de Puebla, la cual está circundada al norte por el Estado de Tlaxcala, al sur por la Región de Chiautla y por la Región de Tepexi, al oriente por la parte norte de la Región de Tehuacán y por la parte sur de la llamada Región Este, y al occidente por el Estado de México y una pequeña parte del Estado de Morelos.

La parte norte de la región Atlixco-San Martín Texmelucan se asienta en la vertiente oriental de la Sierra Nevada, de manera que se observan una serie de pequeños lomeríos de material piroclástico y lavas intercaladas.

La Sierra Nevada fué edificada por emisiones de lava que surgieron a través de las cálizas cretácicas plegadas que afloran, a trechos, en el flanco sur del Popocatepetl. Las emisiones fueron sucesivamente de dacitas que forman los picos de la parte central: Papayo, Telapón, Tlaloc; de andesitas que forman el Iztaccíhuatl, los conos de la parte norte y el Popocatepetl, que es uno de los más jóvenes de la sierra, y, por



último, de basaltos arrojados en gran cantidad por pequeños conos de formación reciente, situados al pie de la sierra. Un fenómeno notable es la coexistencia de las erupciones andesíticas arrojadas por los grandes conos y la efusión abundante de lavas basálticas arrojadas por los pequeños volcanes situados en sus flancos. Los primeros tuvieron carácter explosivo y es por esto que los depósitos de material clástico andesítico se intercalan en algunas regiones con los malpais basálticos formados por erupciones relativamente tranquilas.

La región Atlixco-San Martín Texmelucan, está dividida transversalmente por tres sistemas de elevaciones pequeñas paralelos entre sí, que forman entre ellos tres diferentes planos, excepto en el sur de la región que corresponde a la parte norte del Valle de Atlixco y comprende parte de las elevaciones que delimitan dicho valle, junto con el extremo norte de la sierra de Tentzo, que es donde se localiza el cerro Tzitzimitl, cuya parte baja está formada por conos aluviales dedicados al cultivo de hortalizas.

La sierra de Tentzo es una pequeña cordillera de cerros escabrosos, calizos, áridos, que limita los antiguos distritos de Tecali y Tepexi. Sobre el flanco oriental de esta sierra se alza una roca escarpada que tiene la figura de una cara humana con larga barba, la cual sirvió para darle el nombre a la sierra (tentzon-barba). La elevación más alta de la sierra de Tentzo es de 2658 metros sobre el nivel del mar y al pie de esta cadena se abre una profunda depresión cuyo fondo sirve de cauce al Río Atoyac.

De norte a sur de la región, tenemos en primer lugar una serie de elevaciones que delimitan, en su parte sur, a la meseta de San Martín y que parece ser que forman parte de la Cordillera Neovolcánica uniendo al Iztaccíhuatl con la Malinche, notable es esta última por las rocas descubiertas de su cima; se considera esta elevación como un desprendimiento de la Sierra Nevada por su estructura andesítica; tiene una altura de 4461

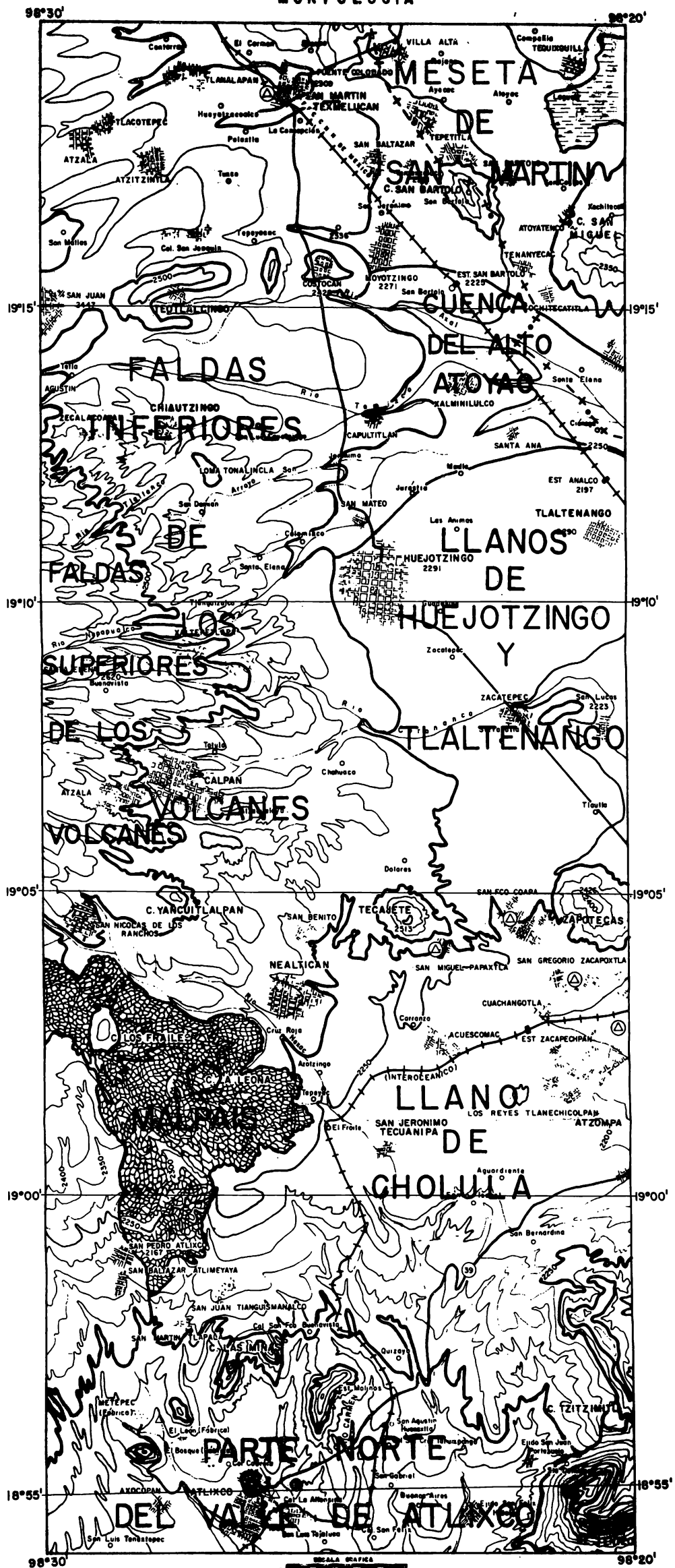
metros y solo corresponde a Puebla la cuarta parte de su cono y el resto pertenece a Tlaxcala. Partiendo de las faldas superiores del Iztaccíhuatl está el cerro de Teotlalcingo con una elevación de 2 500 metros sobre el nivel del mar, siguen dos pequeñas lomas en una de las cuales se asienta el pueblo de Coxtocan. A continuación está el cerro de San Bartolo y el cerro San Miguel que tiene una altura de 2 350 metros.

Al sur del cerro San Bartolo y del cerro San Miguel, se localiza la Cuenca del Alto Atoyac formada por el Río Axal, el Río Temixco, el Arroyo San Jerónimo y el Río Nepapualco que van a formar parte del Río Atoyac y que riegan la parte sur de la Meseta de San Martín y la parte norte de los Llanos de Huejotzingo y Tlaltenango, estos últimos están delimitados en su parte sur por el segundo sistema de elevaciones que está formado, a partir de las faldas superiores del Popocatepetl, por el cerro Yacuatlipan, seguido por el Tecajete que recibe su nombre por su forma peculiar y que tiene una altura de 2 513 metros y junto a este, se levanta el cerro Zapotecas con una altura de 2 426 metros y que todavía muestra señales del bosque pino-encino que antes le cubrió y del que ahora solo quedan vestigios.

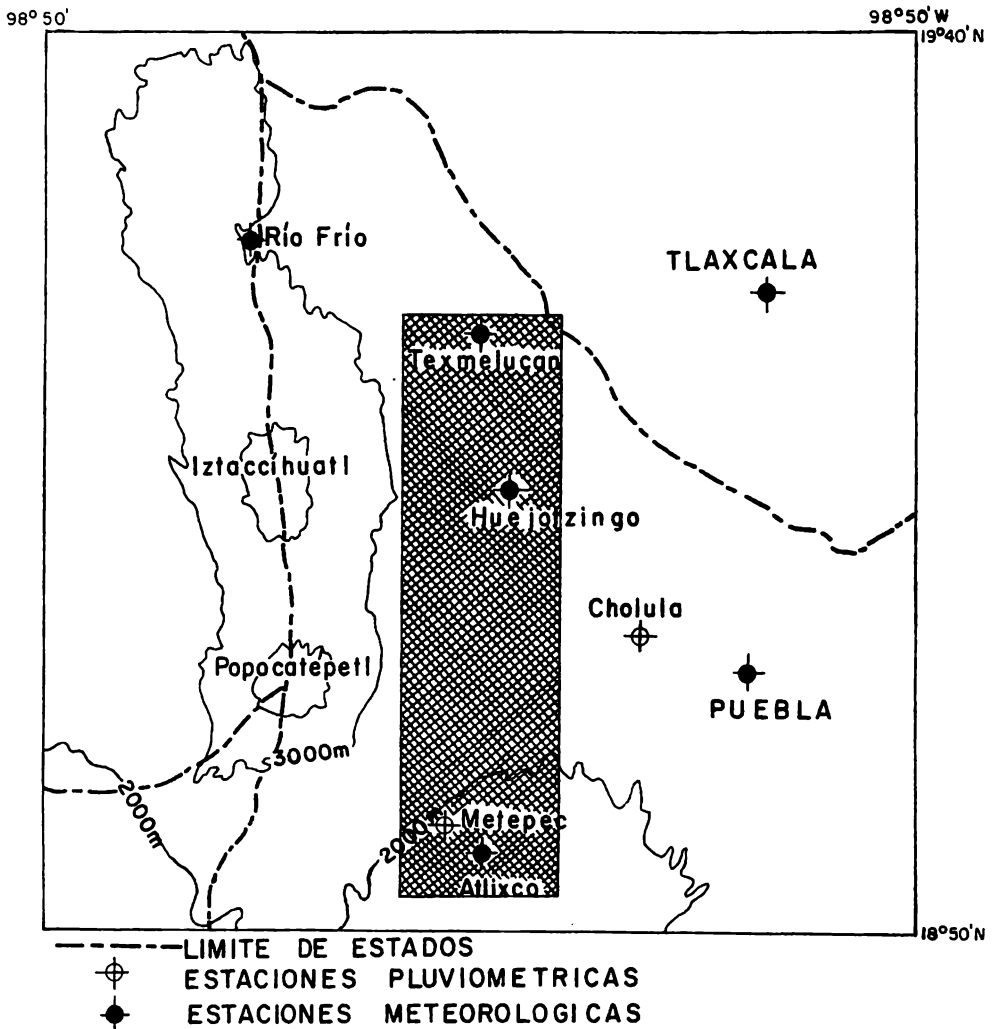
Tenemos después el Llano de Cholula, circundado por una serie de elevaciones que parte en el norte con el cerro Zapotecas y el Tecajete, para continuar en el occidente con el malpaís basáltico que baja del Popocatepetl y que culmina con dos elevaciones también basálticas llamadas cerro de los Frailes y cerro La Leona. En la parte sur el Llano de Cholula topa con el cerro de las Minas y el cerro de la Estación Molinos que a su vez delimitan, en su parte norte, al valle de Atlixco, junto con las elevaciones extremas de la parte norte de la sierra de Tentzo. Por el oriente, el Llano de Cholula se prolonga hasta los históricos cerros de Loreto y Guadalupe, junto con el cerro de San Juan y que marcan el límite del llano con la ciudad de Puebla.

Por otra parte, la región Atlixco-San Martín Texmelucan, presenta un decli-

MORFOLOGIA



ve de W a E, que va desde las Faldas Superiores de los Volcanes consideradas hasta una altura de 2 500 metros sobre el nivel del mar, seguidas por las Faldas Inferiores de los Volcanes a 2 200 m, hasta los llanos que ocupan las partes bajas de la región en el oriente de la zona considerada.



V.- CLIMA .

Para hacer el análisis del estado medio de los fenómenos atmosféricos en la región de estudio, nos valimos de las estaciones meteorológicas de Atlixco situada a 1 830 m. de altitud; Huejotzingo a 2 291 m.; Puebla a 2 165 m.; Río Frío a 3 000 m.; Texmelucan a 2 309 m.; Tlaxcala a 2 552 m. y de las estaciones pluviométricas de Cholula a 2 150 m. y Metepc a 2 000 m. Dentro de la zona están situadas las estaciones de Texme

TEMPERATURA MEDIA ANUAL											
ESTACION	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	ANUAL
Atlixco	15.1	15.0	16.5	18.5	18.2	17.8	18.4	18.9	18.8	18.0	17.2
Huejotzingo	12.1	13.4	15.6	17.2	18.4	18.1	17.1	17.0	16.6	15.8	15.6
Puebla	12.8	14.4	16.5	18.1	18.8	18.0	17.2	17.4	16.9	16.1	16.1
Río Frío	8.3	7.6	10.8	11.7	11.9	11.9	11.4	11.5	9.4	10.3	10.1
Texmelucan	13.8	15.1	17.5	19.0	19.5	19.4	18.6	19.3	18.8	17.9	17.4
Tlaxcala	13.0	14.5	16.4	16.7	15.3	17.3	15.0	16.6	14.9	15.8	15.3

lucan, Huejotzingo, Metepec y Atlixco; al oriente las estaciones de Tlaxcala, Cholula y Puebla; y al noroeste la estación de Río Frío que es la que está situada a mayor altitud.

Al observar las temperaturas medias anuales de la región, vemos que éstas están relacionadas con la altitud; Río Frío que está situado a una altura de 3000 m. tiene una temperatura media anual de 10.1°C; Tlaxcala situado a 2552 m. tiene una temperatura media anual de 15.3°C; Huejotzingo que tiene una altitud de 2291 m. acusa una temperatura media anual de 15.6°C y Atlixco que es la que se encuentra a una altitud menor en relación con las otras estaciones (1830 m) tiene una temperatura media anual de 17.2°C. Todas estas estaciones guardan la relación de : a mayor altitud menor temperatura, excepto la estación de San Martín Texmelucan que está situada a 2309 m. y tiene una temperatura media anual de 17.4°C temperatura superior a la de Huejotzingo que está situada ligeramente a una altitud menor y que tiene una temperatura de 15.6°C. Esto es debido probablemente a que San Martín Texmelucan se encuentra protegido de los vientos que bajan de la Sierra Nevada por una serie de elevaciones como las de Teotlalcingo y Coxtot-

can.

En cuanto al mes más cálido en la región, este es el mes de abril registrado en todas las estaciones meteorológicas, teniéndose en Atlixco una temperatura promedio máxima mensual de 27.6°C , con un promedio anual de temperaturas máximas de 25.2°C ; Huejotzingo tiene una temperatura promedio máxima mensual de 26.9°C y una promedio anual de 23.9°C ; Puebla de 25.8°C máxima mensual y 23.3°C como promedio anual; Río Frío, por estar situado a mayor altitud con respecto a las demás estaciones acusa la temperatura promedio máxima mensual más baja: 20.8°C , con una temperatura promedio máxima anual de 20.0°C ; Texmelucan de 27.8°C y 25.5°C ; Tlaxcala de 23.9°C como promedio de temperaturas máximas mensuales y de 21.5°C como promedio de temperaturas máximas anuales.

Podemos observar entonces, que si tomamos en cuenta solo las estaciones que están dentro de la región en estudio, se tienen temperaturas muy uniformes en cuanto al promedio de temperaturas máximas, que como ya se dijo, éstas se registran en el mes de abril, siendo para Atlixco de 27.6°C , para Huejotzingo de 26.9°C y para San Martín Texmelucan de 27.8°C ; teniendo un rango entre la más alta y la más baja de estas temperaturas de nueve décimas de grado.

En cuanto a las temperaturas mínimas, estas se registran en los meses de diciembre y enero, teniéndose en Atlixco una temperatura promedio mínima mensual de 4.2°C en el mes de diciembre y una temperatura promedio mínima anual de 8.8°C ; Huejotzingo tiene una temperatura promedio mínima mensual de 3.0°C en el mes de enero y una promedio anual de 7.3°C ; Puebla de 6.5°C mínima mensual en el mes de enero y 10.3°C como promedio anual; Río Frío de 1.8°C en el mes de diciembre y de 3.9°C como temperatura promedio anual mínima; San Martín Texmelucan de 5.0°C en el mes de diciembre y 9.3°C ; Tlaxcala de 4.7°C como promedio de temperatura mínima en el mes de diciembre y de

PROMEDIO DE TEMPERATURAS MAXIMAS

ESTACION	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
Atlixco	23.6	23.2	24.7	27.6	26.9	25.0	26.3	27.2	26.1	26.0	24.2	22.2	25.2
Huejotzingo	21.0	23.1	26.0	26.9	26.9	25.0	23.6	24.5	24.2	23.3	22.2	20.9	23.9
Puebla	21.6	22.8	24.8	25.8	25.5	23.8	23.0	23.6	22.5	22.8	22.3	21.5	23.3
Río Frío	17.8	19.4	20.8	20.8	20.5	19.8	18.8	19.5	18.8	18.4	18.7	17.4	20.0
Texmelucan	23.2	24.8	27.0	27.8	27.5	25.9	25.1	26.5	26.4	24.9	24.2	23.1	25.5
Tlaxcala	19.7	21.0	23.1	23.9	23.6	22.3	21.1	21.8	20.9	21.0	20.5	19.7	21.5

PROMEDIO DE TEMPERATURAS MINIMAS

ESTACION	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
Atlixco	6.7	6.7	8.3	9.7	9.7	10.7	10.4	10.4	11.4	10.0	7.7	4.2	8.8
Huejotzingo	3.0	3.7	6.4	7.6	9.7	11.0	10.4	9.6	9.4	8.3	5.5	3.5	7.3
Puebla	6.5	7.8	10.3	11.8	12.7	12.9	12.1	12.2	12.0	10.4	8.4	7.6	10.3
Río Frío	2.8	2.7	2.9	4.6	5.0	5.2	5.0	5.5	5.2	4.0	2.5	1.8	3.9
Texmelucan	5.0	5.5	8.1	10.3	11.4	12.9	12.1	12.3	12.3	10.1	7.2	5.3	9.3
Tlaxcala	4.7	5.9	7.8	9.5	11.3	12.0	11.4	11.2	11.4	9.6	7.2	7.3	9.1

9.1°C como promedio anual de temperaturas mínimas.

Las diferencias que se tienen en la región, en cuanto a temperaturas mínimas, ya son más apreciables, teniéndose un rango de 2°C entre San Martín Texmelucan y Huejotzingo que acusan temperaturas mínimas promedio de 5.0°C y 3.0°C, en el mes de diciembre, respectivamente. En cuanto a los promedios mínimos anuales estos también guardan el mismo rango de 2°C de diferencia, siendo la temperatura promedio mínima anual de 9.3°C para San Martín Texmelucan y de 7.3°C para Huejotzingo. Esto quizás se deba, como ya se indicó antes, a las elevaciones que sirven de protección a San Martín y que hacen las veces de corredor para los vientos que bajan de la Sierra Nevada y que van a dar a Huejotzingo directamente.

La precipitación pluvial, dentro de la región Atlixco-San Martín Texmelucan, se concentra principalmente en verano, registrándose las máximas precipitaciones en los meses de junio, julio y agosto, siendo para Atlixco de 913.1 mm anuales, para Huejotzingo de 886.5 mm, para Metepec de 676.2 mm y para Texmelucan de 791.3 mm. de lluvia anual.

Según la clasificación de Köppen, tenemos un clima Cwa en la región de estudio. La C nos indica que la temperatura del mes más cálido es superior a 18°C y que la temperatura del mes más frío es superior a 0°C. La w nos dice que la precipitación se concentra principalmente en verano y que los meses de invierno son secos, y la a se refiere a que la temperatura del mes más cálido es superior a 22°C. En otras palabras, tenemos un clima templado, con lluvias en verano, seco en invierno, y con una temperatura del mes más cálido superior a 22°C.

El medio climático de una región ha sido analizado desde el punto de vista de sus influencias en el desarrollo de la vida vegetal. Relacionando la temperatura y la precipitación se han obtenido diferentes índices por medio de fórmulas empíricas que permiten

determinar si un lugar cuenta con la suficiente humedad para el desarrollo vegetal.

El botánico francés L. Emberger propone la fórmula siguiente para determinar el índice de aridez de un lugar.

$$Q = \frac{100 P}{(T+t)(T-t)} \therefore$$

$$Q = \frac{100 P}{(T^2 - t^2)}$$

Q índice de aridez.

P precipitación anual en mm.

T temperatura máxima promedio del mes más cálido.

t temperatura mínima promedio del mes más frío.

El índice de aridez de Emberger está en razón directa a la precipitación y es inversamente proporcional a la diferencia que existe entre los cuadrados de las temperaturas máxima y mínima promedios del mes más cálido y del mes más frío respectivamente. Lógicamente, entre mayor sea este índice el lugar será más húmedo como corresponde a la estación de Río Frío que presenta una precipitación anual de 1106 mm y un índice de 257.5; el índice más bajo se registra en San Martín Texmelucan con una precipitación de 791.3 mm. anuales. La estación de Tlaxcala, aún cuando recibió una precipitación menor que la de San Martín Texmelucan, presenta un índice de Emberger mayor debido a que su temperatura

PRECIPITACION TOTAL EN mm.											
ESTACION	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV. DIC. ANUAL
Atlixco	2.5	4.0	4.0	30.5	102.5	101.0	128.0	289.6	138.8	89.5	18.2 4.5 913.1
Cholula	5.6	4.1	3.4	8.7	92.6	146.2	151.4	86.3	20.1	51.8	23.3 9.6 603.1
Huejotzingo	5.7	5.4	8.5	24.9	65.3	154.9	180.3	164.7	172.0	79.4	18.7 6.7 886.5
Metepec	7.1	3.2	8.2	21.3	91.9	119.7	179.5	135.3	30.4	29.4	46.6 3.6 676.2
Puebla	7.3	6.0	8.9	24.2	85.7	166.7	144.0	144.0	150.3	63.4	22.7 7.7 831.8
Río Frío	11.7	6.6	13.8	48.3	151.9	190.5	198.5	172.6	179.0	102.3	23.3 7.5 1106.0
Texmelucan	6.5	6.3	11.1	20.8	82.5	138.9	166.0	136.1	135.9	65.1	15.2 6.9 791.3
Tlaxcala	4.1	3.4	9.1	16.2	82.7	162.5	149.9	144.7	132.5	50.5	13.7 6.0 775.3

máxima promedio del mes más cálido fué de casi 4°C más baja que la que se registró en San Martín Texmelucan.

ESTACION	P (mm)	T°C	t°C	(T ² - t ²)	Q
Atlixco	913.1	27.6	4.2	744.12	122.7
Huejotzingo	886.5	26.9	3.0	714.61	124.0
Puebla	831.8	25.8	6.5	623.39	133.4
Río Frío	1106.0	20.8	1.8	429.40	257.5
Texmelucan	791.3	27.8	5.0	747.84	105.8
Tlaxcala	775.3	23.9	4.7	549.12	141.1

Stretta y Mosiño modifican el índice de aridez de Emberger obteniendo la fórmula siguiente :

$$I = \frac{(t + 45)100}{Q}$$

I índice de aridez modificado

t temperatura mínima promedio del mes más frío

Q índice de Emberger

La constante 45 es la ordenada del punto de concurrencia que Stretta y Mosiño consideran óptimos

Según este último índice de aridez se tienen los siguientes rangos:

MUY HUMEDO	< 18
HUMEDO	18 - 28
SUBHUMEDO	28 - 38
TRANSICION	38 - 53
SEMIARIDO	53 - 118
ARIDO	118 - 500
DESERTICO	> 500

El índice de aridez modificado será :

ESTACION	t °C	t + 45	Q	I	INTERPRETACION
Atlixco	4.2	49.2	122.7	40	Transición
Huejotzingo	3.0	48.0	124.0	38	Transición
Puebla	6.5	51.5	133.4	38	Transición
Río Frío	1.8	46.8	257.5	18	Húmedo
Texmelucan	5.0	50.0	105.8	47	Transición
Tlaxcala	4.7	49.7	141.1	35	Subhúmedo

De acuerdo con el índice de aridez de Emberger modificado por Stretta y Mo-
siño, se ve que a las tres estaciones, que se localizan dentro de la región en estudio,
les corresponde un índice de transición. Para Tlaxcala el índice es subhúmedo y para
Río Frío, que es la estación localizada a mayor altitud, el índice es húmedo.

El Dr. C. Warren Thornthwaite, profesor de la Universidad de Oklahoma ,
E. U. A. propuso en 1931 un sistema de clasificación de los climas, apoyado primordial-
mente en la clasificación del clima desde el punto de vista de la humedad y de la tempe-
ratura efectiva para el desarrollo vegetal.

Admitiendo que la humedad efectiva depende de la precipitación pluvial P y
de la evaporación E, Thornthwaite consideró como la expresión más sencilla y convenien-
te la relación P / E , para expresar dicha humedad efectiva. Pero como no de todas las
estaciones meteorológicas se obtiene el dato de evaporación, se buscó otra expresión equi-
valente en función de los datos de precipitación y temperatura media.

Para este trabajo, dispuso de los datos mensuales de 21 observatorios del oes-
te de los Estados Unidos de Norteamérica, abarcando períodos de observación entre 4 y
12 años. Los datos fueron : temperatura media mensual, precipitación total mensual y
evaporación total mensual.

Por medio de un estudio de correlación entre estos elementos se obtuvo la ecuación siguiente:

$$i = \frac{P}{E} = 11.5 \left[\frac{P}{T-10} \right]^{\frac{10}{9}}$$

P precipitación total mensual en pulgadas

T temperatura media mensual en °F

Aplicando esta fórmula para cada lugar, se obtendrán 12 valores de i correspondientes a los doce meses del año. A la suma de estos doce valores le llamó Thornthwaite índice I de la efectividad de la precipitación en dicho lugar.

Respecto a la temperatura, la clasificación de la favorabilidad de los distintos climas para la vida vegetal, la funda Thornthwaite en la consideración de que los dos extremos de la escala correspondiente son : por un lado el trópico, que con la humedad adecuada da lugar a la más exuberante y variada vegetación y, por el otro, las regiones polares carentes en absoluto de vegetación.

De una manera empírica establece la fórmula siguiente para calcular el índice mensual de la eficiencia de la temperatura (i') fórmula escogida de tal suerte, que los valores numéricos de este índice corresponden a los valores de la humedad.

$$i' = \frac{T-32}{4}$$

T temperatura media mensual en °F

Para este índice no se admite un valor negativo, por lo que se conviene que en los casos en que T sea menor de 32°, i' se tome con un valor igual a cero.

Como en el caso de la efectividad de la humedad, se calculará para cada lu-

gar el índice anual I' que corresponde a la suma de los 12 índices mensuales i' .

Thornthwaite, al igual que Köppen, establece cuatro tipos de distribución de la precipitación a través del año y los representa con las letras siguientes:

f: humedad abundante en todas las estaciones

s: humedad deficiente en verano

w: humedad deficiente en invierno

x': humedad deficiente en todas las estaciones

El Ing. Alfonso Contreras Arias adoptó el sistema de Thornthwaite, para su uso en la República Mexicana llegando a los resultados siguientes:

CATEGORIAS CLIMATOLOGICAS EN RELACION CON LA HUMEDAD

VALOR DEL INDICE I'	CARACTER DEL CLIMA	VEGETACION CARACTERISTICA
128 o mayor	Muy húmedo	Selva
64 a 127	Húmedo	Bosque
32 a 63	Semiseco	Pastizal
16 a 31	Seco	Estepa
menor de 16	Muy seco	Desierto

CATEGORIAS CLIMATOLOGICAS EN RELACION CON LA TEMPERATURA

VALOR DEL INDICE I'	CARACTER DEL CLIMA
128 o mayor	Cálido
101 a 127	Semicálido
80 a 100	Templado
64 a 79	Semifrío
32 a 63	Frío
16 a 31	De Taiga

1 a 15

De Tundra

0

Polar

En las unidades acostumbradas en nuestro país, resultan para el índice i y para el índice i' , las fórmulas siguientes equivalentes a las antes citadas de Thornthwaite.

$$i = 1.64 \left[\frac{p}{t + 12.2} \right]^{\frac{10}{9}} \quad \text{fórmula (1)}$$

$$i' = \frac{9t}{20} \quad \text{fórmula (2)}$$

p precipitación total mensual en mm.

t temperatura media mensual en °C

Construyendo un nomograma se pueden obtener los índices (i) de la efectividad de la precipitación e (i') de la temperatura para un lugar determinado.

Si consideramos como puntos claves, los puntos que coincidan con $i = i'$, y para el índice anual (I) un valor de 128 o mayor, tendremos :

$$i = \frac{128}{12} = 10.666$$

$$i = 10.67 \text{ o mayor } \therefore$$

$$i' = 10.67 \text{ o mayor}$$

como:

$$i' = \frac{9t}{20} \quad \text{fórmula (2)}$$

podremos obtener el valor de la temperatura a partir de esta relación

$$10.67 = \frac{9t}{20} \therefore$$

$$t = 23.7^{\circ}\text{C}$$

El punto A está sobre la isoterma de 23.7°C con un índice mensual de 10.67.

Además, el punto A deberá de llenar ciertas condiciones de efectividad de

precipitación p , la cual está determinada por la fórmula :

$$i = 1.64 \left[\frac{p}{t + 12.2} \right]^{\frac{10}{9}} \quad \text{fórmula (1)}$$

Sustituyendo los valores encontrados tenemos :

$$10.67 = 1.64 \left[\frac{p}{23.7 + 12.2} \right]^{\frac{10}{9}}$$

Resolviendo esta ecuación por logaritmos decimales tenemos:

$$p = 193.6 \text{ mm}$$

El punto A tiene entonces las características siguientes:

$$t = 23.7^{\circ}\text{C}$$

$$p = 193.6 \text{ mm}$$

$$i = 10.67$$

En forma análoga se pueden obtener varios puntos con el índice de 10.67, por ejemplo:

$$B : t = 18.7^{\circ}\text{C}$$

$$p = 166.6 \text{ mm}$$

$$i = 10.67$$

$$C : t = 14.8^{\circ}\text{C}$$

$$p = 145.6 \text{ mm}$$

$$i = 10.67$$

$$D : t = 5.9^{\circ}\text{C}$$

$$p = 97.8 \text{ mm}$$

$$i = 10.67$$

La unión de los puntos A, B, C, D nos determinará el límite mínimo de la efectividad de la precipitación con un índice de 10.67.

El procedimiento para obtener las rectas que nos limiten la efectividad de precipitación, para los valores de I de: 64, 32 y 16, es el mismo que se acaba de indicar:

PUNTO	I	i	T (°C)	p (mm)
A	128	10.67	23.7	193.6
B	128	10.67	18.7	166.6
C	128	10.67	14.8	145.6
D	128	10.67	5.9	97.8
A ₁	64	5.33	11.8	69.5
B ₁	64	5.33	23.7	103.8
C ₁	64	5.33	18.7	89.2
D ₁	64	5.33	5.9	52.4
A ₂	32	2.67	5.9	28.1
B ₂	32	2.67	23.7	55.6
C ₂	32	2.67	18.7	47.9
D ₂	32	2.67	11.8	37.3
A ₃	16	1.33	2.9	12.6
B ₃	16	1.33	23.7	29.6
C ₃	16	1.33	18.7	25.6
D ₃	16	1.33	11.8	20.0

Con estos valores podemos construir el nomograma que nos indique las zonas de efectividad de la precipitación, de acuerdo con los índices mensuales de 10.67, 5.33, 2.67 y 1.33.

Para determinar el nomograma con las líneas de eficiencia térmica tendremos que el índice anual (I') le corresponde un valor de 128 o mayor, y el índice mensual se-
rá :

$$i' = \frac{128}{12} = 10.666$$

$$i' = 10.67$$

como :

$$i' = \frac{9t}{20} \therefore$$

$$10.67 = \frac{9t}{20}$$

de donde $t = 23.7^{\circ}\text{C}$

Para el valor de $l' = 101$ tenemos :

$$i' = \frac{101}{12} = 8.416$$

$$i' = 8.41 \therefore$$

$$8.41 = \frac{9t}{20}$$

de donde : $t = 18.7^{\circ}\text{C}$

Para el valor de $l' = 80$ tenemos :

$$i' = \frac{80}{12} = 6.66$$

$$i' = 6.67 \therefore$$

$$6.67 = \frac{9t}{20}$$

de donde : $t = 14.8^{\circ}\text{C}$

Para el valor de $l' = 64$ tenemos:

$$i' = \frac{64}{12} = 5.33$$

$$i' = 5.33 \therefore$$

$$5.33 = \frac{9t}{20}$$

de donde $t = 11.8^{\circ}\text{C}$

Para el valor de $l' = 32$ tenemos:

$$i' = \frac{32}{12} = 2.66$$

$$i' = 2.67 \therefore$$

$$2.67 = \frac{9t}{20}$$

de donde : $t = 5.9^{\circ}\text{C}$.

Las líneas isotérmicas que nos marcarán el nomograma de las categorías climatológicas en relación con la temperatura serán : 23.7°C , 18.7°C , 14.8°C , 11.8°C y 5.9°C .

Una vez que hemos construido el nomograma con las categorías climatológicas podremos trazar los climogramas para cada una de las estaciones meteorológicas de la región en estudio, y así, poder ver que tan favorable es el clima para la vida vegetal.

El climograma de Atlixco nos señala que su temperatura durante el año es templada, con excepción del mes de agosto que es ligeramente semicálida, también en el mes de agosto es cuando se recibe la máxima precipitación, y la menor se recibe en el mes de enero.

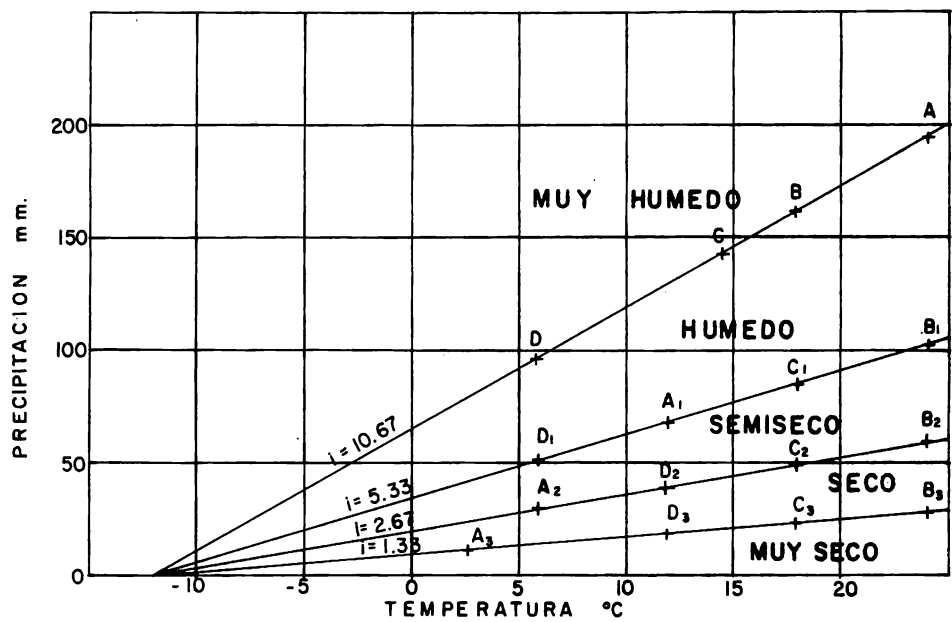
En cuanto a Huejotzingo, el punto máximo de la gráfica corresponde al mes de julio que es el que registra una precipitación mayor, junto con los meses de agosto y septiembre que están dentro de la categoría muy húmeda del climograma, y los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, caen dentro de la categoría muy seca. En cuanto a la temperatura ésta es templada, con excepción de los dos últimos meses del año y los dos primeros que son semifríos.

El climograma de la ciudad de Puebla es muy parecido al de Huejotzingo, solo que la precipitación del mes más húmedo es menor.

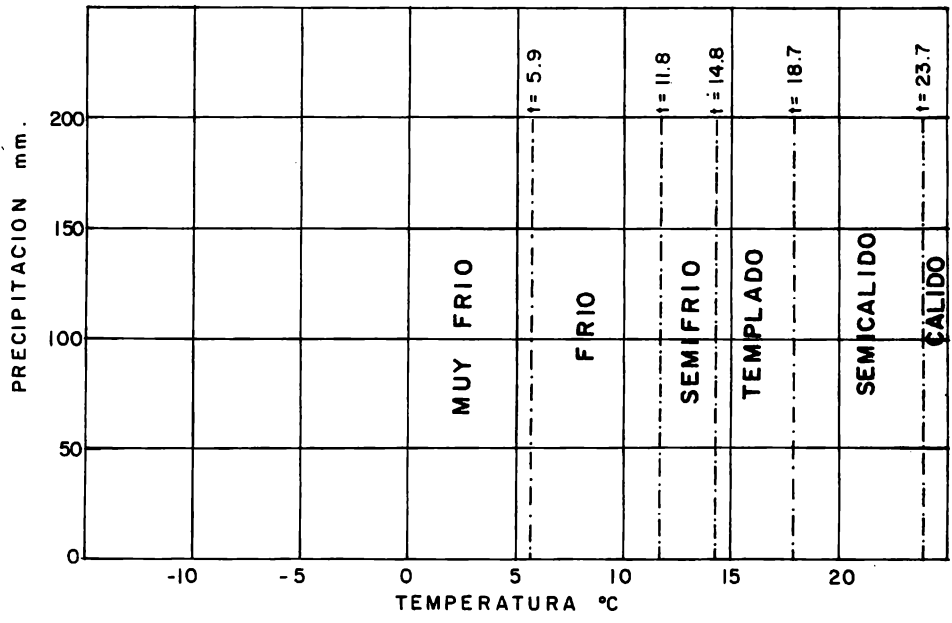
La gráfica de Río Frío está dentro de la categoría fría durante todo el año, la máxima precipitación se registra en el mes de julio y las mínimas en el último mes del año y en los dos primeros.

San Martín Texmelucan registra su máxima precipitación en el mes de julio y las mínimas en los dos últimos meses del año y los cuatro primeros. En cuanto al régimen térmico, la mayor parte del área del climograma cae dentro de la categoría de templada

NOMOGRAMA CON CATEGORIAS CLIMATOLOGICAS
EN RELACION CON LA HUMEDAD



NOMOGRAMA CON CATEGORIAS CLIMATOLOGICAS
EN RELACION CON LA TEMPERATURA



y los meses de abril, mayo, junio y agosto en la de semicálida.

La gráfica de la ciudad de Tlaxcala tiene durante el mes de junio su máxima precipitación y en los dos últimos meses del año y los cuatro primeros su régimen más precario de lluvia. La mayor parte del área del climograma está dentro de la categoría de templada; sólo los dos últimos meses del año y los dos primeros se consideran semifríos.

Las áreas que se obtienen con los climogramas, nos permiten ver, sin gran esfuerzo, qué meses del año están dentro de la categoría húmeda y muy húmeda, que serán en los que tendremos que ajustar el ciclo de crecimiento de las plantas que se cultivan.

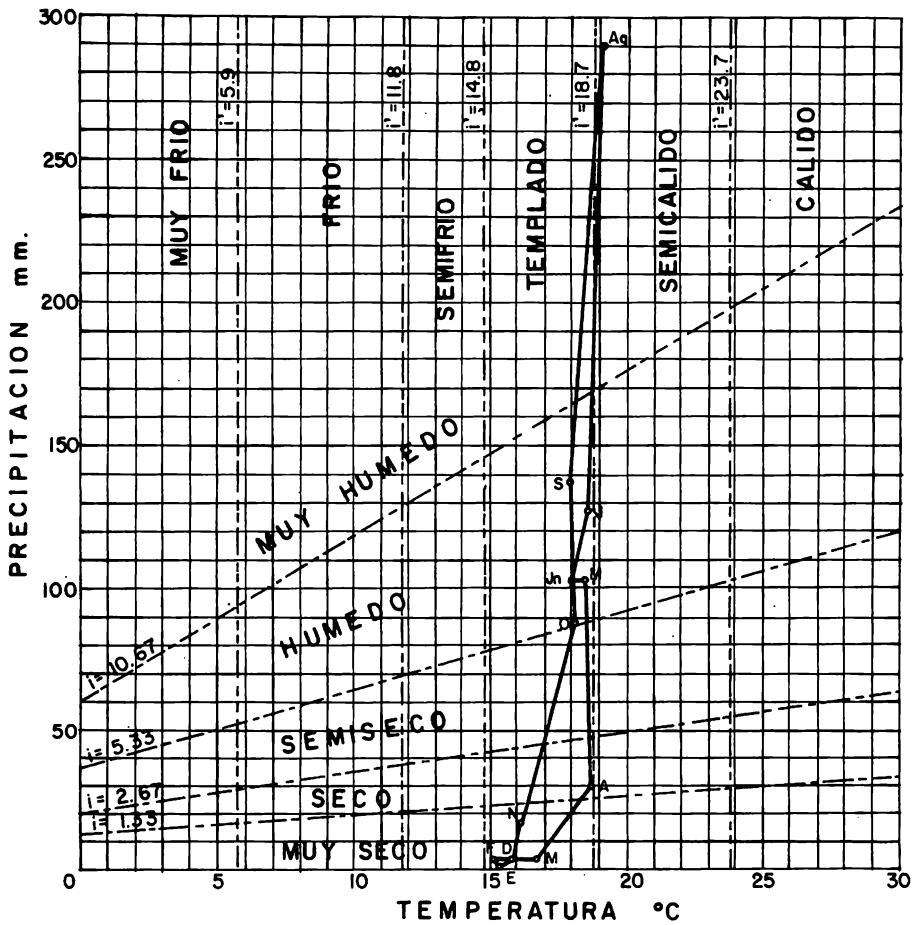
Thorntwaite empleo para su sistema los datos de 21 observatorios de la zona templada de los Estados Unidos de Norteamérica, por lo que su sistema es aplicable a nuestra zona de estudio en cuanto al índice de aridez.

El sistema climático más empleado en el mundo es el de Köppen, dentro del cual, como ya se indicó, corresponde a la región que nos ocupa el clima Cwa.

Köppen estableció límites térmicos para las zonas climáticas, de acuerdo con el cuadro siguiente :

Zona	Temperatura media mensual		Categoría térmica
	mes más cálido	mes más frío	
A	$> 18^{\circ}\text{C}$	$> 18^{\circ}\text{C}$	cálida
C	$> 18^{\circ}\text{C}$	$> 0^{\circ}\text{C}$	templada
D	$> 10^{\circ}\text{C}$	$< 0^{\circ}\text{C}$	fría
E	$< 10^{\circ}\text{C}$	$< 0^{\circ}\text{C}$	polar

De este cuadro podemos deducir que las isotermas para construir un nomograma con el sistema de Köppen serán : 0° , 10° y 18°C



CLIMOGRAMA DE ATLIXCO, PUEBLA

LATITUD 18° 54' N.

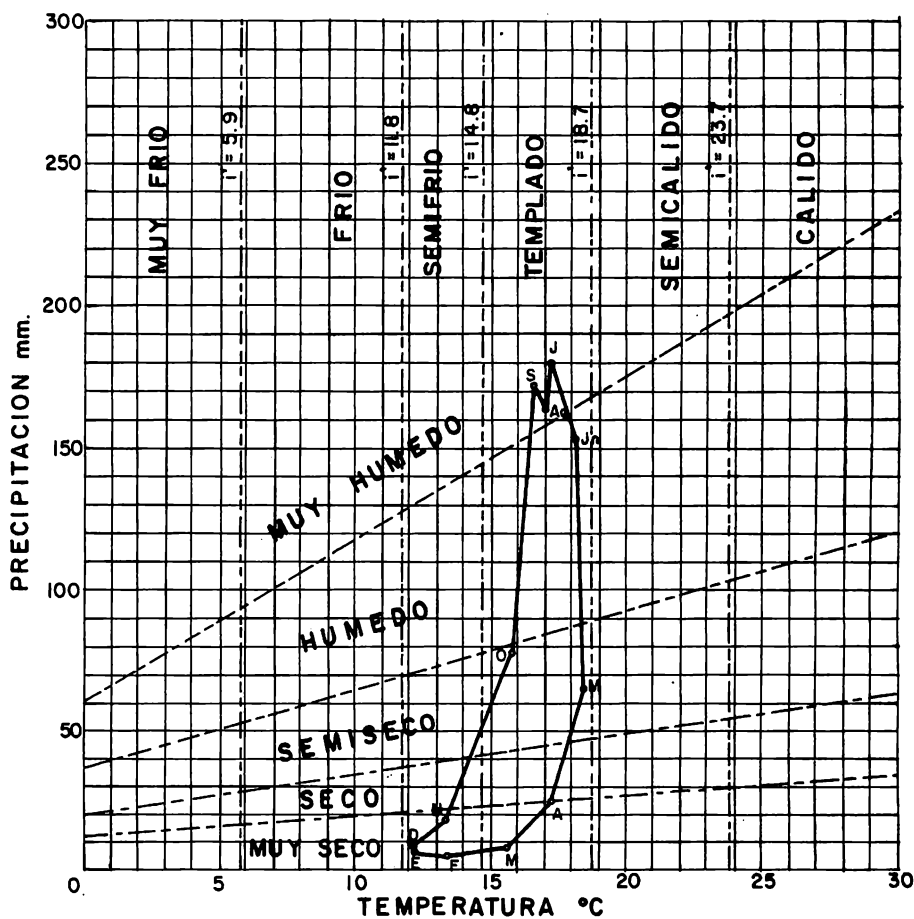
LONGITUD 98° 26' W.

ALTITUD 1830 m.

PRECIPITACION ANUAL : 913.1 mm.

TEMPERATURA : 17.2°C

CLIMA : Cwa



CLIMOGRAMA DE HUEJOTZINGO, PUEBLA.

LATITUD 19° 10' N.

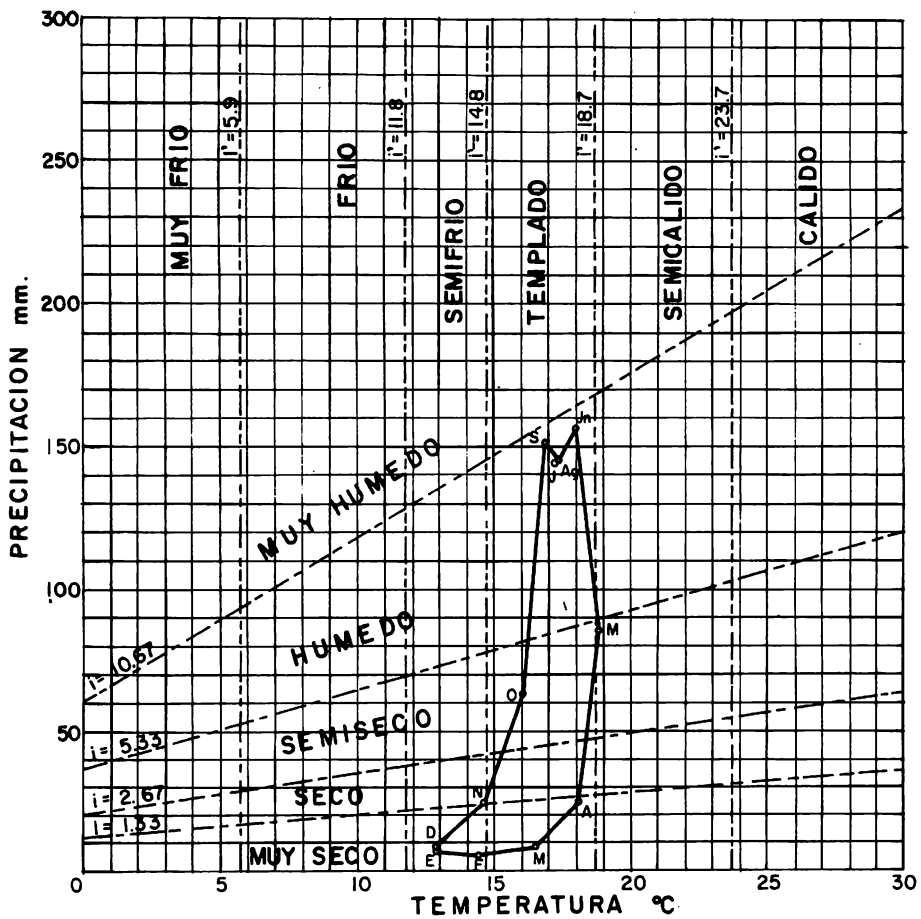
LONGITUD : 98° 25' W.

ALTITUD 2291m.

PRECIPITACION ANUAL : 886.5 mm.

TEMPERATURA : 15.6°C

CLIMA : Cwa



CLIMOGRAMA DE PUEBLA, PUEBLA

LATITUD 19° 20' N.

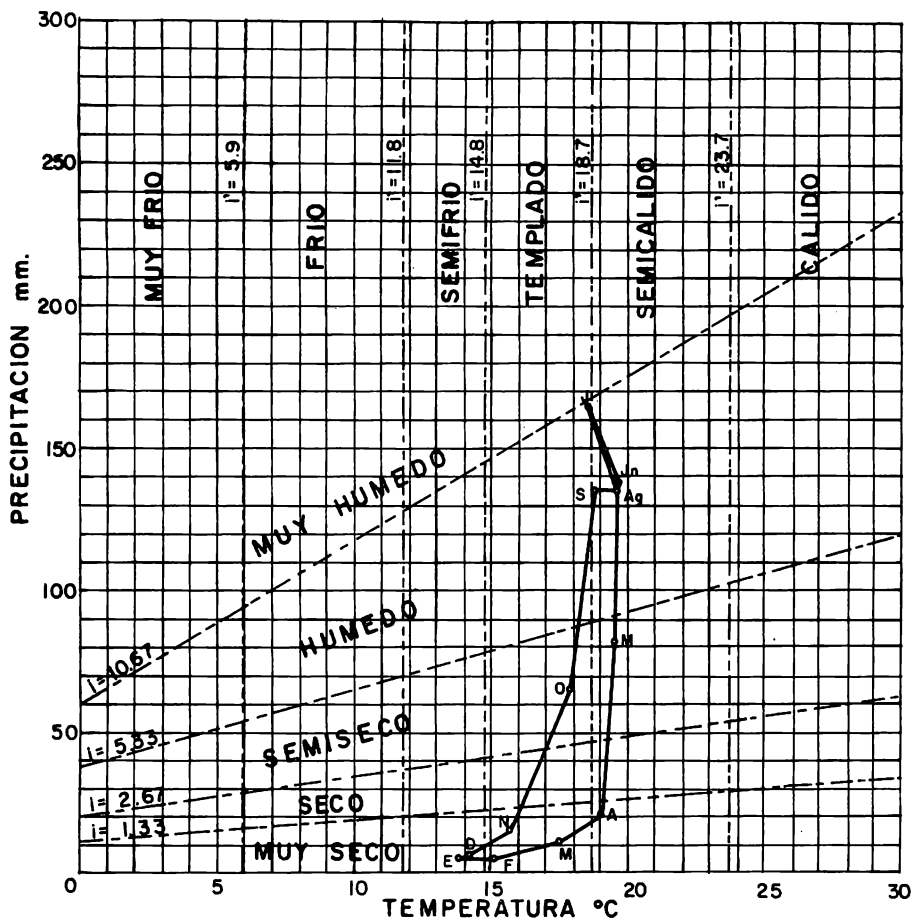
LONGITUD : 98° 12' W.

ALTITUD 2165 m.

PRECIPITACION ANUAL : 831.8 mm.

TEMPERATURA : 16.1°C

CLIMA Cwa



CLIMOGRAMA DE SAN MARTIN TEXMELUCAN, PUE.

LATITUD : 19° 17' N.

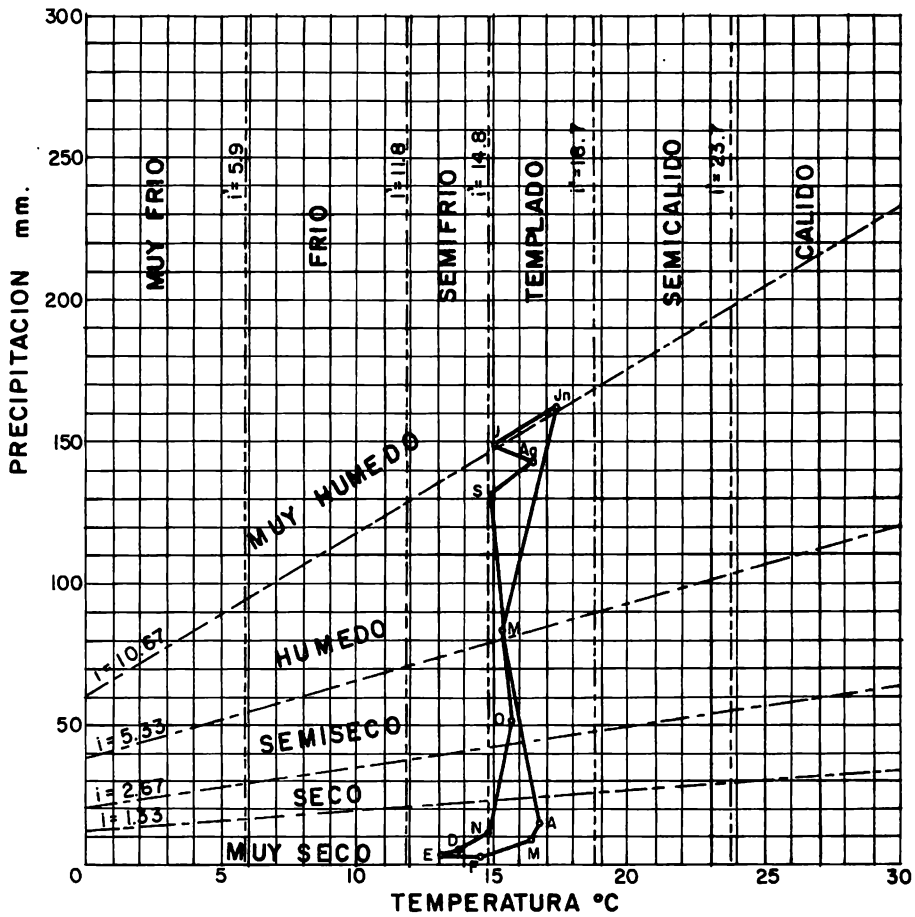
LONGITUD : 98° 25' W.

ALTITUD 2309 m.

PRECIPITACION ANUAL 791.3 mm.

TEMPERATURA : 17.4°C

CLIMA : Cwa



CLIMOGRAMA DE TLAXCALA, TLAXCALA.

LÁTITUD 19° 19' N.

LONGITUD : 98° 14' W.

ALTITUD 2552 m.

PRECIPITACION ANUAL : 775.3 mm.

TEMPERATURA 15.3°C

CLIMA Cwa

Las categorías climáticas en relación con la precipitación, están dadas por las relaciones siguientes :

s		x'		w	
$\frac{W}{S}$	$\frac{B}{H}$	$\frac{W}{S}$	$\frac{B}{H}$	$\frac{W}{S}$	$\frac{B}{H}$
$r \leq t$	$r \leq 2t$	$r \leq t+7$	$r \leq 2(t+7)$	$r \leq t+14$	$r \leq 2(t+14)$

En este cuadro los símbolos representan :

s : humedad deficiente en verano

x' : humedad deficiente en todas las estaciones

w : humedad deficiente en invierno

W : desierto

S : estepa

B : zona seca

H : zona húmeda

r : precipitación anual en centímetros de lluvia

t : temperatura media anual

La zona que nos ocupa, tiene su máximo de precipitación durante el verano , siendo el invierno la estación seca; por lo que, las relaciones que usaremos para obtener los índices de aridez, para las isothermas de Köppen serán las que corresponden a la humedad deficiente en invierno, es decir :

Para la isoterma de 0°C, el valor límite entre el clima desértico y el clima estepario estará dado por :

$$r \leq t + 14 .$$

$$r \leq 14 \text{ centímetros de lluvia.}$$

Lo que nos indica que para una temperatura de 0°C el límite será de 14; arriba del cual tendremos un clima estepario y abajo de este valor, el clima será desértico.

Para esta misma temperatura, el límite entre la zona seca y la húmeda será :

$$r \leq 2(t+14) \therefore$$

$$r \leq 28 \text{ centímetros de lluvia.}$$

Arriba de este valor la zona será húmeda y abajo del mismo, la zona será seca.

Empleando las mismas relaciones para las isotermas de 10° y 18°C tendremos :

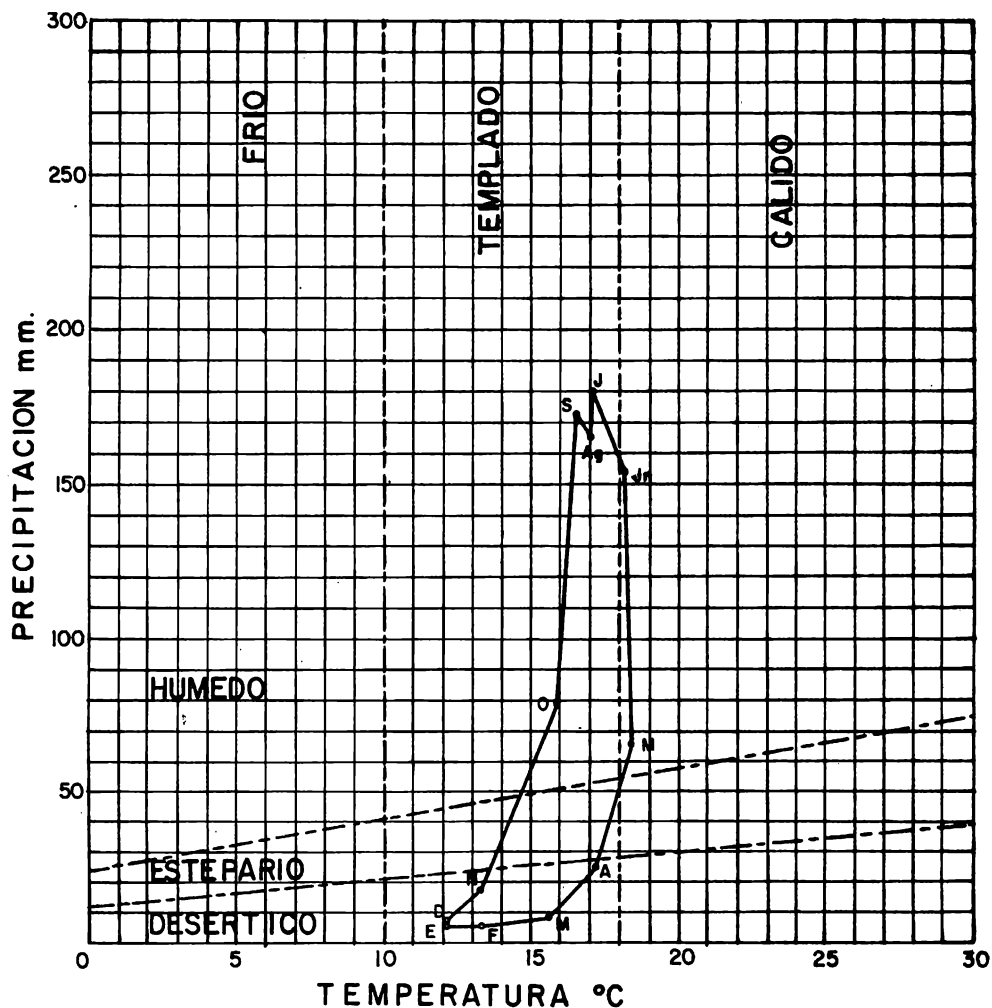
T	$\frac{W}{S}$	$\frac{B}{H}$	$\frac{W}{S}$	$\frac{B}{H}$
0°C	$r \leq 14$	$r \leq 28$	$r' \leq 1.16$	$r' \leq 2.33$
10°C	$r \leq 24$	$r \leq 48$	$r' \leq 2.00$	$r' \leq 4.00$
18°C	$r \leq 32$	$r \leq 64$	$r' \leq 2.66$	$r' \leq 5.33$

Como r es la precipitación anual en centímetros de lluvia, para poder trazar las categorías térmicas en relación con la precipitación (r), dividiremos esta última entre los doce meses del año, obteniendo así el valor de r' que representa el valor medio de la precipitación mensual.

Graficando estos puntos se obtiene el nomograma dentro del cual se trazan los climogramas correspondientes.

En el climograma de Huejotzingo, con categorías climáticas de Köppen, vemos que los meses de noviembre a abril están dentro de la categoría de desérticos y los meses restantes, en la categoría de húmedos.

Según las categorías obtenidas del índice de aridez de Thornthwaite modificado por el ingeniero Contreras Arias, se aprecian diversos matices dentro de las categorías de humedad.



ALTITUD 2291m.

PRECIPITACION ANUAL : 886.5 mm.

TEMPERATURA : 15.6 °C

CLIMA : Cwa

En el nomograma de Köppen, se tomó como categoría de humedad, el límite que señala entre el clima húmedo y el clima seco, y este último a su vez, entre el estepario y el desértico, de acuerdo con las relaciones señaladas para verano lluvioso (w).

En cuanto a las categorías térmicas, en el nomograma de Köppen, vemos que los meses de mayo y junio caen dentro de la categoría de cálidos y el resto, dentro de la de templados, por haberse tomado como límite entre la cálida y la templada la isoterma de 18°C; no así en el nomograma de Thornthwaite en donde se toma como límite la isoterma de 18.7°C cayendo los meses de marzo a octubre en la categoría de templados y de noviembre a febrero en la de semifríos.

VI.- SUELOS DE LA REGION.

Según Miguel Brambila, Alfonso González Gallardo, Antonio Rodríguez L., Mario Macías Villada, Rafael Ortiz Monasterio y Carmen Samano Pinedo, los suelos de la región que estudiamos pertenecen al grupo Chernozem, que se caracterizan por desarrollarse bajo un clima templado, semi-húmedo, con una temperatura media anual alrededor de los 16°C y una precipitación anual de 800 mm. La vegetación característica es de pradera y en la República Mexicana se localizan al norte de Tamaulipas, centro de Nuevo León, una pequeña zona del sureste de Coahuila, este de Durango, Puebla, Oaxaca, Chiapas y noreste de Guerrero.

En cuanto a la serie a que pertenecen estos suelos, ya hemos visto que a partir del mioceno y plioceno de la era cenozoica, se desarrolló con gran intensidad, la actividad volcánica formando la meseta poblana a base de productos piroclásticos como lapilli, arenas, cenizas, y tobas, cuyo depósito forman el grueso mineral de los suelos; esto da por resultado, que los suelos de esta región tengan una gran similitud por la genética que los formó; sus horizontes son bastante semejantes en su disposición y caracteres generales, salvo algunas variaciones externas como declive y pedregosidad.

Dado que los suelos provienen de productos volcánicos, el tipo de estos suelos es francamente ligero, y en algunos de ellos, es factible determinar, a simple vista, un gran contenido de cenizas volcánicas y de lapilli, por lo que la textura generalmente es de migajón-arenoso, con un porcentaje de arena superior al 50 % en todas las muestras a las que se les determinó la textura.

Esta misma textura ligera determina que el drenaje sea eficiente, que las pérdidas por lixiviación sean altas; lo que conduce a establecer técnicas de fertilización en más de dos pasos, siendo el primero en el momento de sembrar, el segundo antes del pri-

mer riego y un tercero antes de la floración. El contenido de materia orgánica en los suelos es baja y consecuentemente la cantidad de nitrógeno aprovechable, el cual hay que suministrar al suelo por medio de un fertilizante apropiado, y el incremento de la materia orgánica a partir de alguna leguminosa o abono verde.

En cuanto a la fase de estos suelos, es bien sabido que para empobrecer una tierra productiva no hay nada tan eficaz como arar las laderas en el sentido de la pendiente, sobrecargar los campos de ganado y rebaños de ovejas, sembrar año tras año los mis - mos cultivos sin proteger las tierras y sin fertilizarlas, despojar a los campos de su vegeta - ción exponiéndolos a los estragos que causan los vientos.

El suelo queda expuesto a los procesos destructivos, cuando el pasto natural se ara y los árboles se cortan o se queman, como ocurre en los pequeños bosques de conífe - ras que están en los linderos de Calpan, Pue., donde es frecuente ver como les queman la base a los árboles, para una vez secos, cortarlos. Esas laderas desforestadas sufrirán en muy poco tiempo los resultados de la erosión a menos que se tomen las precauciones debidas.

En las inmediaciones de Chipilo, Pue. se ve la acción acelerada de la ero - sión, la cual ha despojado al suelo de su superficie fértil y empiezan ya a generalizar - se las cárcavas. En esta zona se tiene una precipitación media anual de 822.9 mm. El subsuelo expuesto es de escasa fertilidad. La erosión progresa tanto, que son pocas las plantas que pueden mantenerse en el fondo de las cárcavas. El suelo de este lugar, arras - trado por el agua, ha cubierto terrenos más bajos, y si no se toman medidas severas, lade - ras como éstas pueden convertirse en tierras totalmente estériles.

La fuerza desarrollada por las lluvias, al caer sobre pasto denso o en el man - tillo de los bosques, es atenuada por la cubierta vegetal, parte del agua que se infiltra

es absorbida por la vegetación y parte queda a disposición de las plantas; en estas condiciones el escurrimiento superficial es poco o nulo y la erosión de los suelos es insignificante.

El suelo sin protección es arrastrado por el agua tendiendo a concentrar un curso desarrollando rápidamente pequeñas vías de desagüe; un aguacero fuerte puede ser suficiente para originar pequeños canales y a menos que la superficie se proteja con vegetación o que los pequeños canales se hagan desaparecer por medio del cultivo, éstos continuarán agrandándose con cada lluvia hasta formar cárcavas que no es posible hacerlas desaparecer por los métodos normales de labranza. El flujo periódico del agua extrae del fondo el material de la cárcava profundizándola gradualmente. El ancho de las cárcavas crece por socavación y desmoronamiento de sus paredes, mientras que el aporte de agua de los tributarios ayuda a desarrollar canales laterales que invaden las tierras adyacentes.

En la región estudiada los suelos son, en general, profundos, por lo que las cárcavas rara vez encuentran roca firme y resistente a unos cuantos decímetros de profundidad; algunos llegan a alcanzar cerca de dos metros como ocurre en la parte este de la colonia ejidal La Alfonsina del Municipio de Atlixco. Otra zona que presenta erosión en cárcavas, es la situada al sureste de San Jerónimo Tecuanipe, y al Norte de San Francisco Buenavista. Algunas de estas zonas fuertemente erosionadas tienen cerca de ellas lugares en los que se presenta una erosión laminar que solo ha afectado a la parte superficial del suelo, pero es notable el cambio de nivel en varios decímetros con respecto a los alrededores.

Cuando la corriente de agua en una cárcava es grande y la carga de detritos es pequeña, el agua puede cavar en su fondo y extraer material adicional; por el contra-

rio , si la corriente viene fuertemente cargada de materia sólida, puede depositarla y levantar de esta manera el lecho de la cárcava. Este relleno por deposición es facilitado por la vegetación, diques y otros obstáculos que ayudan a regular la velocidad del agua. Este método es el más conveniente y económico para atacar las cárcavas. A veces, es necesario poner una capa de lama en el fondo y en las paredes de la cárcava con estacas que la fijen, después sembrar alguna gramínea de rápido crecimiento por rizomas y sobre estos tallos, todavía, se acostumbra poner una red de ixtle para fijar la gramínea y evitar que se desprenda.

Los efectos de la erosión en un lugar determinado, a veces tardan en manifestarse, dependiendo de las características físicas del suelo y del uso a que se le dedica. A medida que el terreno pierde las capas superiores el rendimiento empieza a declinar. Frecuentemente arar resulta un trabajo difícil y costoso por la exposición del subsuelo duro y resistente a la labranza, por otra parte, las tierras desprovistas de las capas superiores exigen más fertilizantes y mayor cantidad de lluvia para producir con ganancia. En resumen, a medida que la erosión avanza, el trabajo agrícola se hace más costoso y menos remunerativo, y a veces, su realización es imposible.

VII.- LA SOLUCION DEL SUELO.

Las partículas sólidas del suelo, compuestas de partículas minerales y de materia orgánica, dejan entre sí huecos o espacios, de tamaño variable que vienen a quedar ocupados por el agua y la atmósfera del suelo. Al volumen total de estos espacios en un suelo cualquiera, se les llama espacio de los poros, siendo variable en los diferentes suelos y aún en el mismo suelo bajo influencias tales como lluvia, sequía, heladas y manejo; normalmente ocupa del 30 al 60 por ciento del volumen total del suelo.

Las cantidades de agua y aire contenidos en el espacio de los poros son complementarias, de manera que cuando se humedece el suelo habrá menos aire, y viceversa; un contenido elevado de agua implica una aeración relativamente deficiente.

El movimiento del agua a través de los suelos es limitado y las láminas de agua situadas a profundidades considerables del suelo no pueden ser aprovechadas para suministrar agua a las capas superficiales, a menos que sea extraída por capilaridad.

Este limitado movimiento del agua a través de los suelos es de gran importancia práctica, puesto que el agua no se mueve hacia las raíces de las plantas sino que las raíces deben dirigirse hacia el agua.

El agua del suelo contiene los productos solubles del suelo y constituye el principal medio nutriente de las plantas y se le da comunmente el nombre de solución del suelo y es, en última instancia, la que comunica el carácter ácido o básico a los suelos, es decir, es la que nos da la reacción del suelo. Existe también la evidencia de que las plantas pueden alimentarse directamente de los nutrientes contenidos en los coloides del suelo.

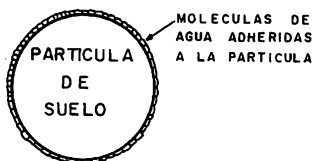
Cuando se aplica agua a un suelo seco, el agua tiende a irse a los horizontes inferiores a través de los macroporos; a medida que ella penetra reemplaza un volumen

igual de aire del suelo y parte del aire permanece en los poros más pequeños. De esta manera algo de aire queda en el suelo a pesar de la corriente descendente del agua, al mismo tiempo la humedad es absorbida por los poros más pequeños y embebida por la materia coloidal.

Cuando ha entrado suficiente agua en el suelo, una vez que ha satisfecho la capacidad absorsiva de la capa superior, el exceso de la misma tiende a descender gradualmente hacia los horizontes inferiores. Cuando se trata de lluvias prolongadas, ésta agua de drenaje penetra a mayor profundidad; por otra parte, aun cuando no se haya satisfecho la capacidad de retención del agua de la capa arable habrá un movimiento descendente pequeño a través de los microporos hasta que se establezca más o menos un equilibrio.

Cuando añadimos agua a un suelo bajo condiciones normales, es indiscutible que la evaporación de la misma se inicia en la superficie del suelo ahora húmedo. Esta pérdida promueve un equilibrio ascendente llamado capilaridad.

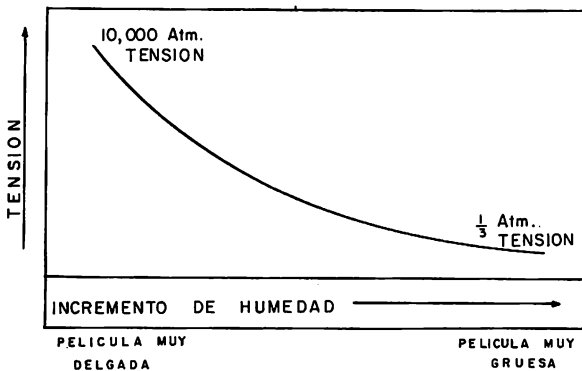
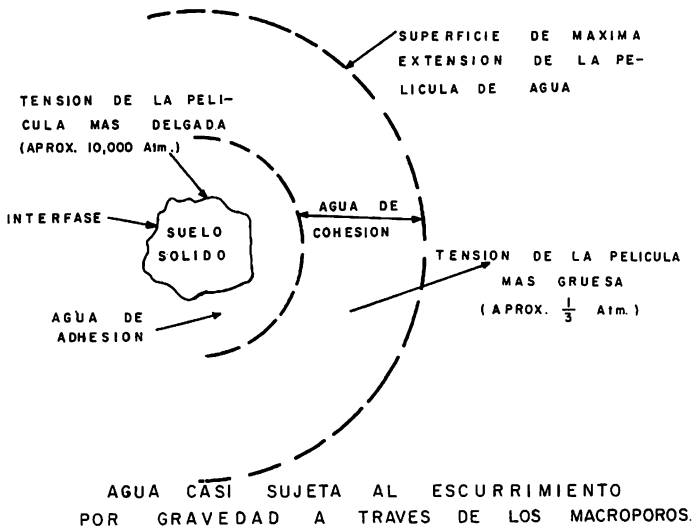
Hay 2 fuerzas responsables de que el suelo pueda retener el agua. Una de ellas es la fuerza que una partícula ejerce para con la molécula de agua. Esta fuerza se verifica exclusivamente sobre la superficie de las partículas y el agua, y recibe el nombre de adhesión. La película de agua que se forma alrededor de la partícula del suelo tendrá que ser sumamente delgada.



La otra fuerza responsable es la cohe -
sión. La cohesión es la fuerza que ejercen las
moléculas de agua entre sí. La cohesión forma
una capa de agua más gruesa que la formada por
la fuerza de adhesión.

El agua retenida por estas dos fuerzas; adhesión y cohesión, puede no solamente mantener los poros capilares llenos de agua, sino que también puede mantener películas de agua relativamente gruesas en los macroporos.

Cuando las últimas películas se van haciendo progresivamente más pesadas, llegan a exceder a la fuerza de gravedad y por tanto, se mueven hacia abajo a través de los intersticios más grandes del suelo. Por esta razón, dicha agua es retenida con poca fuerza.



Para extraer el agua de un suelo se necesita una fuerza de succión o fuerza negativa. Pueden usarse las siguientes unidades para medirla:

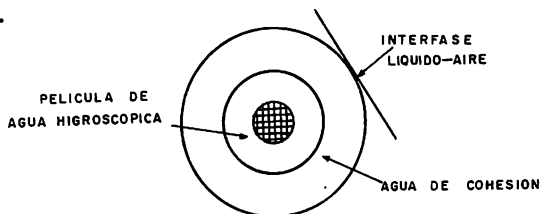
- 1.- La atmósfera.
- 2.- Altura en centímetros de una columna de agua.
- 3.- Valores de pF.
- 4.- Valores en milímetros de una columna de mercurio.

De estas unidades, las más comunes son las tres primeras.

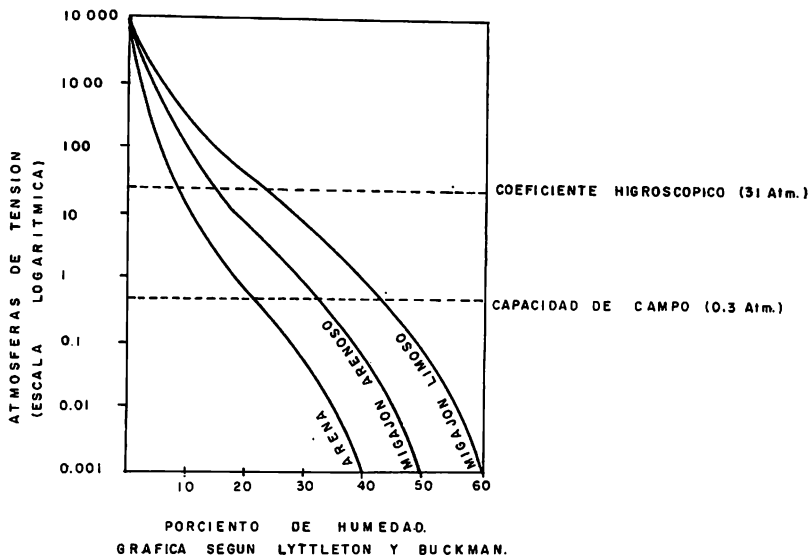
Altura de una columna de agua en centímetros	Atmósferas de presión	Valor de pF.
1	1/1 000	0
10	1/ 100	1
100	1/ 10	2
346	1 / 3	2.54
1 000	1	3
10 000	10	4
31 623	31	4.5
100 000	100	5
1 000 000	1 000	6
10 000 000	10 000	7

pF es el logaritmo de la columna de agua en centímetros.

Los valores de tensión son los valores negativos que se ejercen en la interfase líquido-aire.



Determinando los valores de tensión con diferentes contenidos de humedad , para un suelo en particular, es posible construir gráficas que indiquen las relaciones entre humedad y energía. Para ver la importancia de tales curvas se presentan en la siguiente figura las curvas de tres suelos de diferente textura: un arenoso, un migajón arenoso y un migajón limoso. En ella se ve que las atmósferas de tensión se manifiestan con relación a los porcentos de humedad basados en el peso del suelo seco. *



GRAFICA SEGUN LYTTLETON Y BUCKMAN.

Examinando esta figura podemos ver que los valores de tensión varían con la textura del suelo.

* 100 gramos de suelo nos representan suelo y agua. Esta muestra se somete a una temperatura de 105° a 110°C por espacio de 3 a 4 horas. Se enfría en un desecador con CaCl_2 anhidro y se pesa. Si el peso de la muestra es de 80 gramos quiere decir que perdió 20 gramos de agua. El porcentaje de humedad será :

$$H = \frac{20 \times 100}{80} = 25\% \text{ de humedad}$$

Basados en las curvas de tensión de cualquier suelo, pueden establecerse ciertos puntos importantes y más o menos críticos. Tres de ellos son de especial interés e importancia: a) Coeficiente higroscópico; b) Capacidad de campo; c) Capacidad de retención máxima.

a) Consideremos una partícula de suelo seco; si lo sometemos a una corriente de vapor de agua, absorbe una cierta porción de éste; la absorción depende en mayor o menor grado de la magnitud de la superficie, la temperatura y el grado de humedad. La cantidad de agua así absorbida por la partícula, en una atmósfera de humedad relativa conocida, se le llama coeficiente higroscópico.

Las fuerzas que actúan en el coeficiente higroscópico se deben casi enteramente a la atracción de las moléculas de agua por la superficie que presenta el suelo. El coeficiente higroscópico, expresado en por ciento, es mayor en los suelos de textura más pesada, debido a su mayor contenido de materia coloidal. La materia orgánica tiende a aumentar el coeficiente higroscópico.

Para el coeficiente higroscópico corresponden 31 atmósferas de tensión.

b) Cuando se humedece un suelo, el agua tiende a escapar a horizontes inferiores; llega a un equilibrio el agua, en el cual todo movimiento de ésta cesa. Encontrándose el suelo en estas condiciones se dice que está en su capacidad de campo.

Para la capacidad de campo corresponden 0.3 atmósferas de tensión.

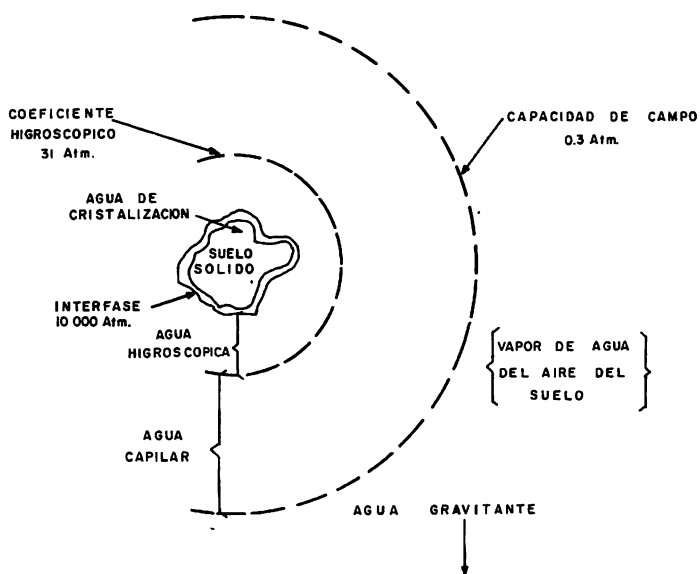
c) La capacidad máxima de retención de agua, se refiere a la cantidad de agua que puede contener un suelo cuando todo el espacio poroso está ocupado por ella. Si a un suelo seco se le somete a vapor se hidrata; si agregamos más agua se van formando películas de agua a las partículas de suelo hasta llegar a un límite dentro del cual el suelo se ha saturado y no admite más adición de agua; todos los poros del suelo estarán ocupados por el agua y se dice entonces que el suelo está en su capacidad máxima de re-

tención de agua.

Esta condición es perjudicial para las plantas, porque se origina en el suelo una condición anaerobia que impide que la planta se nutra satisfactoriamente. No debe permitirse que el suelo permanezca en este estado mucho tiempo, para evitar esto se somete al suelo a un drenaje que elimine el exceso de agua.

Sobre estos tres coeficientes considerados es posible clasificar el agua del suelo bajo las denominaciones : higroscópica, capilar y gravitacional. Es también importante considerar otras dos formas de agua : el agua de cristalización y el vapor de agua contenido en el suelo:

El agua que está sujeta a tensiones menores de 0.3 atmósferas y que tiende a descender a horizontes inferiores por la fuerza de gravedad se le dá el nombre de agua gravitacional o de drenaje.



El agua higroscópica está tan fuertemente retenida en el suelo que forma una película muy delgada en las interfases sólido-líquido. El agua capilar es la única que, conteniendo sustancias disueltas, permanece en el suelo por un período de tiempo considerable, de modo que funciona en el suelo, química y físicamente, en tal forma que justifica la denominación de solución del suelo y es la que nos determina la reacción del mismo. El agua gravitante implica una pérdida considerable de elementos nutritivos al drenar éstos los suelos.

VIII.- CONCEPTO DE pH.

El símbolo pH significa potencial hidrógeno y se emplea para expresar con exactitud el potencial eléctrico que desarrolla un líquido de índice de hidrógeno dado, o sea, de cierta concentración de iones hidrógeno.

En el análisis volumétrico, la neutralización de las disoluciones se revela sirviéndose de los llamados indicadores, cuya coloración varía según el grado de acidez o alcalinidad de las mismas. Pero la acidez revelada por los indicadores, es la llamada acidez total o de valoración y está compuesta de dos partes: de la porción de ácido ionizado o acidez iónica, llamada también acidez actual o real, y de la porción de ácido que no está disociada, denominada acidez latente, potencial o disimulada.

Ahora bien, la concentración de cationes H^+ o índice de hidrógeno, para poderla representar por su valor real debería estar afectada del exponente negativo. Para evitar este exponente negativo Sorensen ideó el símbolo pH, llamado también índice de Sorensen, que significa potencial hidrógeno y consiste en el logaritmo del recíproco de la concentración del ión H^+ . Los valores extremos de pH son 0 y 14, 0 significa acidez normal o sea un gramo de iones H^+ por litro de solución y 14 significa alcalinidad normal, o sea 17 gramos de iones OH^- (el equivalente en gramos de OH^- es 17) por litro de solución. El valor medio 7 indica que la solución es neutra por contener igual número de cationes H^+ que de aniones OH^- .

Orientación General..- Tómense 15 tubos de ensaye y numérense del 0 al 14; póngase en el tubo 0, 1, 2, - - -, 14 mililitros de un líquido muy ácido, que se designará con el nombre de solución A. En otros 15 tubos de ensaye repítase la operación pero con un líquido alcalino designado con el nombre de solución B, que sea equivalente al primero, o sea, que 100 mililitros, por ejemplo, del uno neutralizan exactamente a 100 mililitros del otro. En los tubos restantes se pondrán soluciones escalonadas, de

tal forma que el total de las dos soluciones A y B sumen siempre 14 mililitros, en la forma siguiente:

Tubo	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
Solución A	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Solución B	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Esta serie de tubos ofrece soluciones cuya acidez y alcalinidad varían gradualmente, lo cual nos proporciona un medio de comparar y aún de expresar numéricamente la acidez o alcalinidad de cualquier solución por comparación con las soluciones de esta serie. Así, por ejemplo, una solución de acidez igual a la del tubo III la llamaremos de acidez 3, la que fuese igual a la del tubo XII la llamaríamos acidez 12 y la intermedia entre la acidez de los tubos IV y V la llamaríamos 4.5.

El símbolo pH se emplea para representar una medida análoga a la significada por la serie que se acaba de indicar, hasta el punto en que, como primera aproximación, pueden considerarse como numéricamente equivalentes los valores de acidez de la serie de tubos y del pH. Así es que el significado de los valores del pH, son análogos a los valores de la serie de tubos de ensaye.

Un pH de 0 nos indica el mayor grado de acidez posible; a un pH de 14 corresponde el mayor grado de alcalinidad posible; un pH de 7 nos indica un estado de neutralidad. Las soluciones son tanto más ácidas cuanto más bajo es su pH. Las soluciones son tanto más alcalinas cuanto más alto es su pH.

La neutralidad de las soluciones, expresada por un pH de 7, no indica ausencia de acidez y de alcalinidad, sino que tienen totalmente contrarrestadas estas propiedades.

Acidez actual, potencial y total. - La acidez de los ácidos se debe al hidró-

geno ionizable que contiene, así como la alcalinidad de las bases, a la de los oxidrilos ionizables que contienen. No todos los hidrógenos y oxidrilos ionizables se encuentran siempre en forma activa o estado de ionización, sino solo un cierto porcentaje de los mismos, que depende de diversas circunstancias, como concentración de la solución, temperatura, naturaleza del compuesto, etc, en suma del llamado grado de ionización.

Supongamos que el ácido clorhídrico normal, o sea, la solución acuosa de este ácido, en la que hay 36.5 gramos de ácido clorhídrico por litro de solución, tenga un grado de ionización igual a 78 % , es decir, que en un litro de esa solución clorhídrica habrá un gramo de hidrógeno ionizable; pero de ese gramo solo estarán efectivamente ionizados 78 centigramos y sin ionizar los 22 restantes centigramos, de aquí el significado de las expresiones acidez actual, potencial y total.

Se llama acidez actual a la cantidad de hidrógeno activo, o sea, realmente ionizado, contenido en las soluciones .

Acidez potencial es la cantidad de hidrógeno sin ionizar, pero ionizable, contenido a manera de reserva, que irá ionizándose efectivamente a medida que desaparezca el hidrógeno ionizado por efecto de alguna reacción.

Acidez total es la suma de la acidez actual y potencial, o sea la cantidad de hidrógeno ionizado o ionizable contenido en el ácido. Por ejemplo, la acidez total de un litro de solución normal de HCl comprende un gramo de hidrógeno, la acidez actual 0.78 gramos y la acidez potencial 0.22 gramos. El pH expresa la acidez actual.

Significado de los distintos valores del pH.— Los valores del pH van desde 0 a 14. Una solución se dice que tiene un pH de 0, cuando un litro de solución contiene un gramo de hidrógeno ionizado, o sea, cuando es normal con respecto al ion hidrógeno. Una solución tiene pH de 1, cuando contiene un decigramo de hidrógeno ionizado por

litro de solución. Una solución tiene un pH de 2, cuando tiene un centígramo de H ionizado por litro, o sea, cuando es centinormal con respecto al H. Una solución tiene pH de 14, cuando contiene una cienbillonésima del H ionizado por litro de solución, o sea, cuando es cienbillonésimonormal con respecto al H.

He aquí la serie completa del pH con respecto al H contenido en la solución y la normalidad de la misma.

pH	Cantidad de H por litro de solución	Normalidad
0	1 gramo	N
1	0.1 gramos	0.1 N
2	0.01 gramos	0.01 N
3	0.001 gramos	0.001 N
4	0.000 1 gramos	0.000 1 N
5	0.000 01 gramos	0.000 01 N
6	0.000 001 gramos	0.000 001 N
7	0.000 000 1 gramos	0.000 000 1 N
8	0.000 000 01 gramos	0.000 000 01 N
9	0.000 000 001 gramos	0.000 000 001 N
10	0.000 000 000 1 gramos	0.000 000 000 1 N
11	0.000 000 000 01 gramos	0.000 000 000 01 N
12	0.000 000 000 001 gramos	0.000 000 000 001 N
13	0.000 000 000 000 1 gramos	0.000 000 000 000 1 N
14	0.000 000 000 000 01 gramos	0.000 000 000 000 01 N

El examen de estas series nos revelan los hechos siguientes:

a. Las unidades del pH indican el lugar que después del punto debe ocupar la

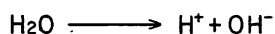
unidad para expresar el índice de hidrógeno o la normalidad de la solución. Así, por ejemplo, se nos dice que la solución tiene un pH de 6, inmediatamente podemos decir que su índice de hidrógeno es 0. 000 001 o sea, que contiene una millonésima de gramo de hidrógeno por litro y que su normalidad es 0.000 001, es decir, millonormal.

b. El aumento de la unidad en el pH reduce 10 veces el índice de hidrógeno. De aquí se desprende que una solución con un pH de 5 posea una actividad diez veces mayor que otra de pH de 4 y diez veces menor que otra de pH de 6, o sea, que para preparar una solución con pH de 4 deberá invertirse diez veces más ácido que para otra solución de pH de 5.

Los valores de pH 7 y pH 14.- En el índice de hidrógeno hay dos cosas que llaman la atención : una es que el índice 0. 000 000 1 gramos o pH 7 indica que la solución es neutra y otra que el índice 0. 000 000 000 000 01 gramos o pH 14 señala el límite máximo del pH. La explicación de estas dos consecuencias nos lo proporciona el conocimiento de la disociación electrolítica del agua.

La medida de ionización del agua pura revela que en un litro de agua a 22°C, hay 0.000 000 1 gramos de hidrógeno (10^{-7} g.), lo cual quiere decir que el agua pura tiene un pH de 7 y como el agua pura ha sido considerada como un líquido completamente neutro, de aquí que las soluciones de pH 7 se llamen neutras.

Por otra parte, la ecuación de disociación electrolítica del agua es :



es decir, que el agua pura se disocia en tantos iones H^+ como OH^- . De aquí se deduce que en el agua pura se verificará siempre la siguiente igualdad: $\text{H}^+ = \text{OH}^-$.

Como el agua es un electrolito débil, se verificará que el producto de las concentraciones molares de todos sus iones será igual a la constante de ionización K, es decir :

$[H^+][OH^-] = K$, pero como el valor de $[H^+]$ es igual al de $[OH^-]$ se tiene:

$[H^+]^2 = K$ y sustituyendo $[H^+]$ por el valor que tiene en el agua pura $[10^{-7}]$ se tiene:
 $[10^{-7}]^2 = K = [10^{-14}]$

De la igualdad $K = [H^+][OH^-]$ se deduce que si aumenta la concentración de uno de los iones, por ejemplo: $[H^+]$ ha de disminuir proporcionalmente la del otro $[OH^-]$ y viceversa. Por esto, si al agua cuya concentración de iones $[H^+]$ y $[OH^-]$ es de 10^{-7} se añaden 10 veces más iones $[H^+]$ mediante la adición de ácido clorhídrico se tendrá que la concentración de iones $[H^+]$ pasará a 10^{-6} y la de iones $[OH^-]$ a 10^{-8} o sea, que el pH será de 6 y el pOH será de 8. Si se añadiesen todavía 10 veces más iones H^+ la concentración de iones $[H^+]$ pasaría a 10^{-5} y la de iones $[OH^-]$ a 10^{-9} o sea, que el pH alcanzaría el valor de 5 y el pOH el valor de 9, de aquí la serie de valores pOH que corresponde a la de valores de pH:

pH	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
pOH	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

En estas series se ve que la suma del pH y del pOH es siempre igual a 14. Ahora bien, como el equivalente gramo del OH^- es 17, de aquí que, para deducir la cantidad de gramos de OH^- correspondientes a un pOH determinado bastaría establecer un decimal terminado en 17 que tenga tantas cifras decimales como unidades tiene el pOH. Así, por ejemplo, un líquido de pOH de 5 contendrá 0.000 17 gramos de OH^- por litro, un líquido de pOH de 10 tendrá 0.000 000 001 7 gramos de OH^- por litro.

Toda solución, cualquiera que sea su pH, contiene siempre iones H^+ y OH^- pero en las soluciones de pH menor de 7, hay más iones H^+ que iones OH^- y por esto son ácidas; en las de pH mayor de 7 hay más iones OH^- que iones H^+ , y por esto son alcalinas o básicas.

El valor del pH no pasa de 14, porque a ese valor la concentración de iones OH^- es normal y con un pH superior a 14, por ejemplo: 15, la concentración sería 10 veces normal, y en soluciones tan concentradas ya no rigen las leyes de ionización y del equilibrio químico en que se apoya la teoría del pH.

Significado de un pH fraccionario.— Un pH fraccionario indica que se trata de soluciones de concentración intermedia entre las indicadas por los números enteros del pH, entre los cuales se encontrará la fracción; por ejemplo: una solución de pH de 2.5 indicará que está entre la centinormal (pH 2) y la milinormal (pH 3).

Para encontrar el valor exacto del índice de hidrógeno en las soluciones de pH intermedio, débese tener presente que el logaritmo de un número es el exponente que lleva una potencia de 10. Por ejemplo: 1000 es igual a 10^3 , luego el logaritmo de 1000 es 3; cien mil (100,000) es igual a 10^5 , luego el logaritmo de 100 000 es 5. Si se trata de cantidades decimonormales se tiene, por ejemplo: 0.000 000 1 igual a 10^{-7} luego -7 es el logaritmo de 0.000 000 1. Con esto podemos construir una serie de pH con sus respectivos índices de hidrógeno y sus logaritmos:

pH	Indice de Hidrógeno	Logaritmo
0	1	0
1	0.1	-1
2	0.01	-2
3	0.001	-3
4	0.000 1	-4
5	0.000 01	-5
6	0.000 001	-6
7	0.000 000 1	-7

pH	Índice de Hidrógeno	Logaritmo
8	0.000 000 01	-8
9	0.000 000 001	-9
10	0.000 000 000 1	-10
11	0.000 000 000 01	-11
12	0.000 000 000 001	-12
13	0.000 000 000 000 1	-13
14	0.000 000 000 000 01	-14

De estas series se infiere que el pH de toda solución es igual al logaritmo del índice de hidrógeno con signo contrario y ésta es la definición técnica y precisa del pH.

Ahora resulta fácil encontrar el logaritmo de las soluciones intermedias. Sea una solución que contenga 2×10^{-4} gramos de hidrógeno por litro. El índice de hidrógeno será $2/10\ 000$. El logaritmo de esta cantidad es : $\log 2 - \log 10\ 000 = 0.30 - 4 = -3.70$. Como para hallar el pH se debe cambiar el signo al logaritmo del índice de hidrógeno tendremos un pH de 3.7.

IX. INFLUENCIA DE LA REACCION DEL SUELO EN LA NUTRICION DE LAS PLANTAS.

En la reacción del suelo puede considerarse como límite inferior de acidez el pH de 4.0 y como límite superior de alcalinidad el pH de 10.0.

La reacción o pH de los suelos está estrechamente relacionada con el clima. En las zonas de lluvias escasas, donde el escurrimiento e infiltración del agua no se produce o tiene lugar a una escala muy reducida, se origina una paulatina acumulación de sales que da lugar a la alcalinidad del suelo; por el contrario, los climas lluviosos originan suelos ácidos debido al lixiviado que efectúa la abundancia de agua cuando escurre o se infiltra.

La reacción del suelo está ligada con la fertilidad, tanto si el pH es muy ácido como si es muy alcalino, la mayor parte de los elementos nutrientes que contiene o los que puedan agregársele en forma de fertilizantes, se transforman en compuestos insolubles y no pueden ser aprovechados por las plantas. Este gran inconveniente puede eliminarse mediante el empleo de correctores tales como la cal cuando se trata de suelos ácidos, como los limitados por San Gregorio Zacapoxtla al norte y Estación Zacapecpan al sur, que corresponden a la zona de muestreo número 25; o el yeso, flor de azufre, etc. si la reacción del terreno es alcalina como los que se encuentran en la zona noreste de la región de estudio que corresponde a los puntos de muestreo 54, 60 y 67.

Desde el punto de vista práctico a veces es necesario interpretar la reacción del suelo en términos generales o comparativos. El cuadro siguiente resulta útil para dicha interpretación y se puede apreciar el intervalo de valores de pH que pueden encontrarse en los suelos:

Muy alcalino - > 8.0	Acido - - - - - 5.5 a 5.9
Alcalino - - - - 7.4 a 8.0	Fuertemente ácido - - - - - 5.0 a 5.4

Neutro o casi neutro- - 6.6 a 7.3	Muy fuertemente ácido - - - - - 4.3 a 4.9
Ligeramente ácido - - - 6.0 a 6.5	Extremadamente ácido - - - - - <4.3

Las relaciones más importantes entre la reacción del suelo y la nutrición de las plantas son:

- 1) La facilidad de substitución del calcio y del magnesio.
- 2) La solubilidad del fierro, aluminio, manganeso y otros elementos menores.
- 3) La asimilabilidad del fósforo.
- 4) La actividad de los microorganismos.

Calcio y magnesio intercambiables. A medida que se pierden el calcio y el magnesio del suelo por agotamiento aumenta gradualmente la acidez.

En cualquier suelo dado hay una relación definida entre el pH y la actividad de estos constituyentes, pues el pH del suelo es regido principalmente por el porcentaje de saturación de bases, y éste a su vez depende de las proporciones presentes de calcio y de magnesio intercambiables. Esta relación tiene una gran importancia práctica definida, pues permite por medio de la determinación de la reacción del suelo, estimar a groso modo el porcentaje de saturación de bases del suelo y de este modo la actividad del calcio y del magnesio; entonces puede deducirse si el suelo es o no pobre en cal para un cultivo dado.

Fierro, aluminio y manganeso.- Las relaciones entre la reacción del suelo y la actividad de fierro, aluminio y manganeso, parecen ser algo más definidas que la relación con el calcio y magnesio. Cuando el pH de un suelo mineral es bajo, una proporción considerable de estos tres constituyentes se encuentran en estado activo, tanto, que

el aluminio puede resultar muy tóxico para ciertas plantas.

Por otro lado, al aumentar el pH, estos elementos se precipitan y su proporción en solución se hace cada vez menor hasta que en un suelo alcalino ciertas plantas pueden sufrir por falta de manganeso y fierro asimilables. Este tipo de precipitación se realiza especialmente cuando se lleva bruscamente a la neutralidad o alcalinidad un suelo marcadamente ácido, por una encaladura excesiva.

Si bien las deficiencias de manganeso y especialmente de fierro no son muy comunes, se les observa en suelos principalmente ligeros como lo son la mayoría de los suelos de la región en estudio, o que han sido fuertemente encalados. Pero si la reacción del suelo se mantiene dentro de un intervalo de valores de pH de 6.5 a 7.5, puede evitarse la toxicidad del aluminio y también la clorosis de las plantas debida a una falta de asimilabilidad del manganeso y del fierro, a menos que estos elementos falten realmente en el suelo.

También hay que hacer notar que una encaladura excesiva y la reducción de la concentración de hidrogeniones desarrolla a veces síntomas de deficiencias de cobre, zinc y boro en determinados cultivos. Esta es otra relación de la reacción del suelo que no debe subestimarse.

Fósforo asimilable. - El tipo de ion fosfato contenido en el suelo parece variar de acuerdo con el pH de la solución del suelo. Si el suelo es netamente alcalino, parece que la forma más común es la de $\text{PO}_4^{=}$; este ion es absorbido muy lentamente por las plantas en casi todos los suelos. Pero cuando disminuye el pH y el suelo se vuelve ligero o moderadamente ácido, predominan los iones HPO_4^- y H_2PO_4^- . Con valores mayores de acidez tiende a predominar H_2PO_4^- . Casi todos los autores están de acuerdo en que estas dos últimas formas de fosfatos son absorbidas con mayor facilidad por las plantas y probablemente también por los microorganismos.

De esta manera, la regulación de la reacción del suelo podrá ejercer un cierto control sobre la facilidad con que el fósforo es absorbido por las plantas, siempre que exista una cantidad suficiente en estado soluble.

La actividad del fósforo del suelo está relacionada con el pH también en una forma indirecta. Ya se ha visto que al aumentar la acidez del suelo se incrementa la actividad del hierro y del aluminio; en estas condiciones los fosfatos solubles quedan fijados como algún compuesto complejo e insoluble de hierro y aluminio. Entonces, si bien un aumento de la acidez provoca la presencia de iones fosfato fácilmente absorbidos por las plantas, una disminución demasiado grande del pH impide su asimilación. En esta forma es antieconómico agregar superfosfato a un suelo mineral demasiado ácido.

Por otro lado, si se hace aumentar el pH de un suelo arriba de 8, no solamente se provoca la presencia del ion PO_4^{3-} , sino que puede perjudicarse en otras formas la nutrición fosfatada de las plantas y probablemente también la de los microorganismos. Esto puede explicarse de varias formas:

En primer lugar, en un pH mayor de 7.5, si hay abundancia de cal, se forman fosfatos de calcio complejos. Estos van, en el sentido del aumento de su insolubilidad, desde la oxiapatita $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaO}$, pasando por la hidroxiapatita $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$, hasta la apatita carbonatada $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaCO}_3(\text{H}_2\text{O})_n$, pero si existe una cantidad suficiente de fluor, lo cual es posible cuando se han aplicado superfosfatos, puede formarse fluorapatita, el fosfato más insoluble de todos $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2$. De modo que un aumento del pH puede disminuir seriamente la solubilidad del fósforo, tanto del original del suelo como del agregado.

También puede suceder que al elevar el pH por agregados de cal, el exceso de ésta puede molestar en alguna forma el paso de los iones fosfato a través de las paredes celulares de los pelos radiculares, o hasta perjudicar el metabolismo propio de esos

iones una vez que han sido absorbidos.

Aparentemente no existe otro factor que influya en mayor medida, en la asimilación del fósforo que la reacción del suelo. De los estudios que sobre este punto se han llevado a cabo se puede establecer que en el intervalo de un pH de 6.5 a 7.5 se encuentran las mejores condiciones para el aprovechamiento del ácido fosfórico.

En el nivel de una reacción inferior a 6.5, se podrá observar una cierta disminución de la asimilabilidad de los fosfatos ocasionada por el fierro y por el aluminio, que a tal acidez, se encuentran ligeramente activos.

Por otra parte, parece ser que dentro del intervalo de 6.5 a 7.5 en la reacción del suelo, la absorción de aniones tiene mayor importancia; de esta forma, el fósforo tiene participación en el intercambio iónico y es retenido con suficiente tenacidad como para que las pérdidas en el agua de drenaje sean mínimas.

Estas consideraciones permiten explicar, por lo menos en forma parcial, la mayor asimilabilidad de los fosfatos a valores ligeramente inferiores a un pH de 7. La regulación de la nutrición fosfatada exige mantener la reacción del suelo entre 6.5 y 7.5.

Es recomendable, en los suelos de reacción alcalina, el uso de superfosfatos, cuando se requiera, juntamente con fertilizantes portadores de nitrógeno, tales como sulfato de amonio, urea, etc., con lo cual la acidez de estos fertilizantes generan cierta ayuda al aprovechamiento del fósforo.

De lo anterior se ve que hay dos mecanismos que convierten los superfosfatos a formas no asimilables: la formación de fosfatos de fierro y aluminio en los suelos ácidos y la formación de apatitas en los suelos alcalinos, por lo que los valores óptimos en la reacción del suelo, para que los fosfatos sean mejor aprovechados, son entre 6.5 y 7.5.

Los microorganismos del suelo.— Los microorganismos del suelo son influidos

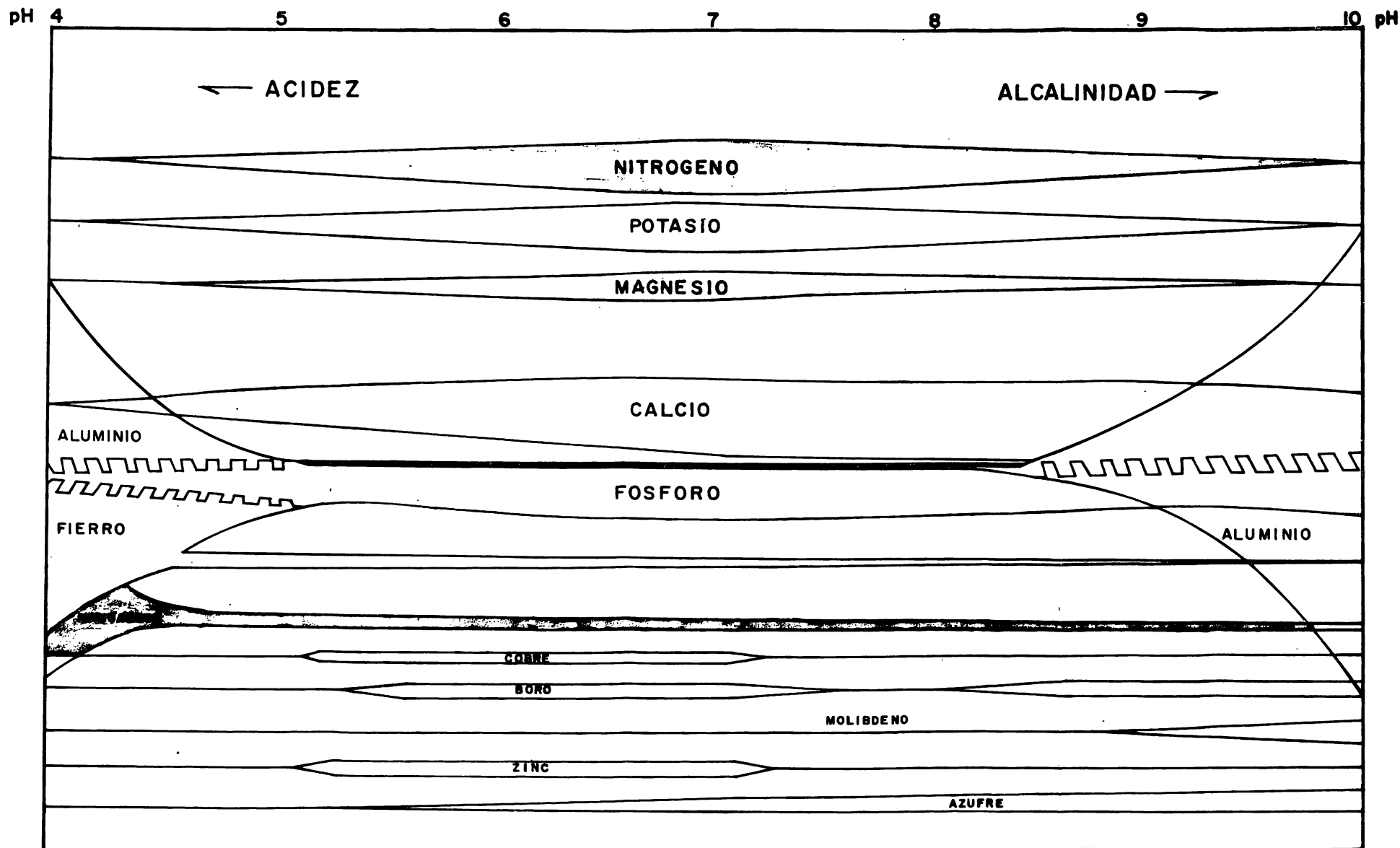
por fluctuaciones en la reacción del suelo. Esto puede deberse en casos extremos al pH mismo y debe atribuirse a los factores relacionados con el pH que ya hemos visto.

En general, se reconoce que en los suelos minerales las bacterias y actinomicas trabajan mejor a valores intermedios, disminuyendo esa actividad cuando el pH es menor de 6. Pero los hongos que son muy facultativos, florecen satisfactoriamente a cualquier valor de la reacción del suelo, de manera que en los suelos con valores de pH bajos predominan los hongos, pero a valores intermedios encuentran una fuerte competencia de parte de los actinomices y bacterias.

Vemos entonces que la nitrificación y la fijación de nitrógeno son vigorosas en los suelos que presentan valores de pH superiores a 6; pero la aminación y amonificación, aunque reducidas, se realizan a valores de pH menores por la acción de los hongos que pueden efectuar estas transformaciones enzimáticas.

En conjunto, un suelo con valor intermedio de pH, por ejemplo 6.5, constituye un régimen biológico muy satisfactorio. En este caso, las condiciones nutritivas son muy favorables, sin ser extremas, y las relacionadas con el fósforo se encuentran en el óptimo, de manera que actúan vigorosamente todos los organismos del suelo y resulta de esto una población microbiana bien equilibrada.

RELACION ENTRE LA REACCION DEL SUELO (pH) Y LA APROVECHABILIDAD
DE LOS DIFERENTES ELEMENTOS NECESARIOS PARA LA VIDA VEGETAL.
A MEDIDA QUE LAS BANDAS INCREMENTAN SU ANCHO INDICAN UNA MAYOR
CANTIDAD DE ELEMENTOS DISPONIBLES.



X. DETERMINACION DE LA REACCION DEL SUELO.

Una de las propiedades químicas más importantes de un suelo, como medio destinado al cultivo de plantas, es el valor de la actividad de los iones hidrógeno o reacción del suelo. La actividad que tienen en los suelos los diez o más iones que intervienen en la nutrición de las plantas, depende en gran medida de la del ion hidrógeno. La cantidad de cal que necesitan los suelos depende del ajuste de la actividad de los iones hidrógeno y de las actividades asociadas de los demás cationes y de los aniones, por esto es tan importante la determinación de la reacción del suelo o pH.

Método del electrodo de vidrio..- El pH del suelo se define como: $pH = \log \frac{1}{[H^+]}$.
 $pH = -\log[H^+]$ en la que la actividad de los iones hidrógeno en la suspensión del suelo se expresa en gramos iones por litro. La concentración efectiva de iones hidrógeno incluye todas las fuentes, tales como la disociación de los ácidos solubles y los disociados de las partículas del suelo.

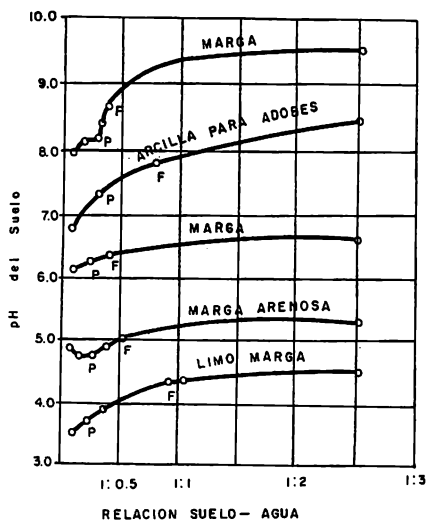
La concentración efectiva se define en términos prácticos del potencial eléctrico (E) medido con un electrodo de vidrio aplicado al sistema formado en el suelo.

Factores que afectan la medida del pH del suelo.- Como los valores medidos del pH en un suelo varían ampliamente con el método de preparación del mismo, se acostumbra especificar el procedimiento de preparación. En la preparación del sistema constituido por un suelo, los factores que afectan principalmente las medidas del pH son: la desecación de la muestra de suelo durante su preparación; el contenido de agua de suelo que se use; el contenido de sales solubles; el contenido de anhídrido carbónico que puede estar influido por la estación o desecación y la intensidad de la molienda del suelo.

La medida del pH de las muestras de suelo realizada en las condiciones de humedad natural en que se encuentra en el campo, debe ser considerada como la más válida

en función del ambiente biológico existente en el suelo. Sin embargo, las medidas sobre muestras desecadas al aire son las más convenientes y las que se realizan generalmente, pudiendo ser considerado este procedimiento como el normal.

Efecto del contenido de agua sobre el pH del suelo medido.—En general, cuanto más diluída sea la suspensión de un suelo tanto más alto será el valor del pH hallado, tanto si el suelo es ácido como si es alcalino.



P = PUNTO PASTOSO

F = PUNTO DE FLUENCIA

GRAFICA SEGUN LYTTLETON Y BUCKMAN.

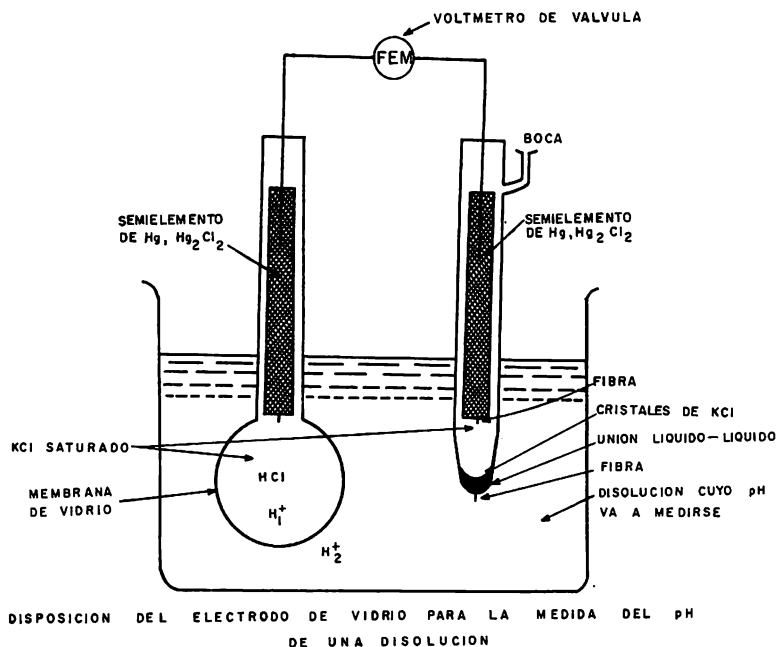
El aumento del pH del suelo con la dilución, desde el punto pastoso hasta una relación suelo-agua igual a 1:10, es normalmente de 0.2 a 0.5 unidades de pH, pero puede llegar a ser de 1 o varias unidades de pH en ciertos suelos neutros o alcalinos como se puede apreciar en la figura. En un suelo calcáreo se observó un aumento desde un pH de 6.45 para una humedad de 6.3 % hasta un pH de 8.60 para una relación suelo-agua de 1:5. En los suelos alcalinos, se produce un aumento brusco de pH justamente antes de alcanzar el tanto porcient

to de humedad de saturación. Así, la dilución hasta el tanto por ciento de saturación, aun cuando es conveniente para la preparación del suelo y la inserción del electrodo, implica ciertas modificaciones de pH para los suelos alcalinos.

Aparatos.— Los aparatos que se necesitan son : un medidor de pH con electrodo de vidrio, electrodo de referencia de calomel y puente salino; matraces de 50 mililitros; varillas cortas para agitar; una espátula y un frasco lavador con agua destilada.

El electrodo de vidrio utilizado generalmente para las medidas de pH, está constituido por una membrana de vidrio, fabricada con un vidrio especial, químicamente puro y blando. A través de la membrana de vidrio se desarrolla un potencial eléctrico que es proporcional a la diferencia de pH existente entre ambos lados:

$\text{Hg, Hg}_2\text{Cl}_2, \text{KCl} \parallel \text{H}_1 \mid \text{H}_2 \parallel \text{KCl, Hg}_2\text{Cl}_2, \text{Hg}$ en donde $\mid$ representa la membrana de vidrio y $\parallel$ una unión líquido-líquido.



La semipila de calomel indicada a la izquierda se encuentra dentro del tubo de vidrio y se introduce en un ácido diluido H_1^+ que llena el bulbo de vidrio. La semipila de calomel de la derecha es el electrodo de referencia que se introduce separadamente en la disolución externa H_2^+ que es la que debe medirse.

El voltaje de la semipila formada por el electrodo de vidrio, E, viene dado idealmente por la expresión:

$$E = - 0.05916 \cdot \log \frac{H_2}{H_1}$$

en la que 0.05916 es el valor numérico de la función RT/nF multiplicado por el módulo de conversión de ln a log: 2.3026; $R=8.313$; $F=96\,500$, $N=1$ para el H^+ y $T=298^\circ K$ que corresponden a $25^\circ C$.

A través de la membrana de vidrio se desarrolla un potencial asimétrico incluso en el caso en que a ambos lados de la misma se encuentren soluciones que posean la misma actividad de iones H^+ . Por esta razón es necesario calibrar el aparato con una solución de pH patrón.

El electrodo de vidrio confiere a los pH-metros que lo utilizan las siguientes ventajas:

- a) No es necesario expulsar los gases disueltos, tales como el anhídrido carbónico, del sistema cuyo pH se determina.
- b) Es adaptable a líquidos espesos, pastas, geles y soluciones coloreadas.
- c) No es afectado por soluciones oxidantes o reductoras.
- d) Tiene un error relativamente pequeño.
- e) Después de calibrado da lecturas con una precisión de 0.1 unidades de pH.
- f) Es rápido y adaptable a aparatos de registro continuo.

Reactivos.— Los reactivos que se necesitan son: una solución reguladora de un pH de 4.0 y otra solución saturada de KCl para el puente, aproximadamente de 40 gramos por 100 mililitros.

Solución reguladora patrón.— La solución reguladora de un pH de 4 para el calibrado se prepara con biftalato de potasio ($KHC_8H_4O_4$, peso molecular de 204.14) di-

solviendo la cantidad necesaria para obtener una solución 0.05M.

El reactivo tiene una pureza de 99.9 % o superior y no es higroscópica por lo que puede pesarse sin ser sometida a una desecación previa.

Se añaden tres gotas de tolueno a la solución para evitar el crecimiento de mohos.

Las soluciones reguladoras patrón se pueden adquirir también en el comercio y cumplen perfectamente con las condiciones del National Bureau of Standards de Washington, D. C.

Procedimiento. - Se da preferencia a la determinación de pH con el porcentaje de humedad de saturación, por la facilidad del humedecimiento rutinario de los diversos suelos hasta que queden en un estado de humedad equipotencial. Esta humedad del suelo es la máxima que puede presentarse en el campo; las películas húmedas son suficientemente gruesas para dar un buen contacto con el electrodo de vidrio.

Las variaciones pequeñas de dilución producen solamente pequeñas variaciones de pH, de modo que solamente es necesario tener un cuidado moderado al ajustar el contenido de agua en el suelo cuando se trate de medir su pH. Este procedimiento es utilizado con facilidad en los laboratorios de ensayos sistemáticos de suelos.

La muestra del suelo. - Se prepara una muestra compuesta de suelo, evitando las moliendas severas y se realiza inmediatamente la determinación o bien se pasa en seguida a un frasco que se cierra herméticamente con el fin de impedir el contacto con trazas de amoníaco u otros gases del laboratorio que puedan modificar el pH de la misma.

Precauciones en el uso del electrodo de vidrio. - Los detalles acerca de como debe operarse con los distintos instrumentos se obtienen de las instrucciones del fabricante. Los electrodos de vidrio son frágiles y pueden deteriorarse rápidamente si no se guardan las precauciones siguientes:

1.- No se dejará el electrodo introducido en la solución o suspensión cuyo pH se determine más tiempo del necesario, especialmente si son más alcalinas que lo que corresponde a un pH de 9.

2.- Inmediatamente después de la medida, el electrodo de vidrio debe lavarse con una corriente abundante de agua destilada procedente de un frasco lavador. Si el sistema que se midió tenía reacción alcalina debe introducirse el electrodo durante unos cuantos segundos en una solución reguladora ácida o en ácido clorhídrico diluido para eliminar la película de carbonato de calcio que se forma algunas veces.

3.- Para guardarlo después de su uso y limpieza, el electrodo se introduce en agua destilada. Se evitará que el electrodo quede seco.

4.- Las fallas del medidor de pH con electrodo de vidrio se pueden descubrir cuando después de su calibrado da una respuesta demasiado lenta frente a grandes variaciones de pH. Se introduce el electrodo de vidrio en una solución reguladora alcalina y después en la solución reguladora ácida original. Si las lecturas de pH son unas décimas superiores al valor correspondiente al patrón, al cabo de un breve tiempo del orden de 60 segundos, después de logrado el equilibrio, indica que el electrodo tiene la membrana de vidrio envejecida o atacada.

Ajuste del puente salino.- Se ajusta el dispositivo de temperatura y se pasa un poco de cloruro de potasio del puente salino, lavando después con abundante agua destilada. Se introducen, en un vaso que contenga solución reguladora de pH de 4, el electrodo de vidrio y el semielemento de calomel con el puente de cloruro de potasio. Se coloca el índice de medida del pH en el valor correspondiente a la solución reguladora patrón que se utilizó. Después se deja pasar el intervalo adecuado para que se caliente el aparato, se equilibra el instrumento con el fin de eliminar el potencial asimétrico. Se

quita la solución reguladora y se lava el electrodo, cuidadosamente, con agua destilada.

Ensayo del pH.- Se colocan en el vaso que contiene una suspensión de suelo los electrodos, desplazando el dial del pH-metro hasta que quede en equilibrio. Este ensayo se repite antes de tomar la determinación a cada muestra nueva.

Preparación de las muestras.- Se introduce en un vaso de 50 ml. un volumen de 30 ml. de muestra de suelo o bien, 10 gramos de muestra. Se añade agua a la muestra, en pequeñas porciones, procedente de un frasco lavador. Lo más conveniente es preparar una serie de muestras simultáneamente. Se añaden sucesivas porciones de agua sin agitar el suelo hasta que quede completamente humedecida toda la masa del suelo y después se añaden unas cuantas gotas más, cuidadosamente, hasta que la superficie brille ligeramente.

Se evita agitar el suelo hasta que se encuentre completamente humedecido, con el fin de evitar la formación de una masa grumosa a través de la cual se desplazaría con mucha lentitud el agua; de esta forma la mayor parte de la humidificación tiene lugar a través de poros no alterados.

Después de haber alcanzado este contenido de humedad, se agita el suelo con una varilla de vidrio y se añaden gotas de agua hasta que se forme una pasta suave que apenas fluya para cerrar el agujero dejado por la varilla.

El suelo se encuentra en estas condiciones con el tanto por ciento de saturación de humedad que es un contenido de humedad equipotencial en los suelos. La superficie del suelo saturado de humedad brilla y el aire ha quedado excluido.

El H. S. Salinity Laboratory deja que el suelo humedecido se equilibre durante una hora antes de realizar la medida del pH. En muchos laboratorios se acostumbra guardar una relación suelo-agua de 1:2 añadiendo a una muestra de 10 gramos de suelo, conte-

nida en un vaso de precipitados, 20 ml. de agua destilada. Se agita la suspensión obtenida a intervalos regulares durante 15 minutos. Es posible alcanzar el equilibrio en 5 minutos de agitación continua y vigorosa con un agitador mecánico.

Se insertan en el suelo saturado de agua los electrodos de vidrio y calomel y se realiza la medida del pH. El electrodo de vidrio debe moverse con el fin de asegurar la separación de la capa de agua que lo rodea y se vuelve a medir el pH.

REACCION DEL SUELO

MUESTRA	Profundidad en cm.	gramos de muestra	ml. de agua destilada	Lecturas de pH		
				1a.	2a.	Promedio
1	0-30	10	20	6.45	6.40	6.42
2	0-30	10	20	6.70	6.80	6.75
3	0-30	10	20	7.30	7.45	7.37
4	0-30	10	20	7.20	7.10	7.15
5	0-30	10	20	7.00	7.05	7.02
6	0-30	10	20	7.50	7.45	7.47
7	0-30	10	20	6.90	6.80	6.85
8	0-30	10	20	6.80	6.80	6.80
9	0-30	10	20	6.60	6.50	6.55
10	0-30	10	20	6.70	6.60	6.65
11	0-30	10	20	7.75	7.70	7.72
12	0-30	10	20	6.75	6.70	6.72
13	0-30	10	20	6.80	6.65	6.72
14	0-30	10	20	6.50	6.55	6.52
15	0-30	10	20	6.25	6.40	6.32
16	0-30	10	20	6.35	6.50	6.42
17	0-30	10	20	6.30	6.40	6.35
18	0-30	10	20	6.20	6.25	6.22
19	0-30	10	20	6.40	6.50	6.45
20	0-30	10	20	6.35	6.25	6.30
22	0-30	10	20	6.45	6.55	6.50
23	0-30	10	20	6.50	6.45	6.47

REACCION DEL SUELO

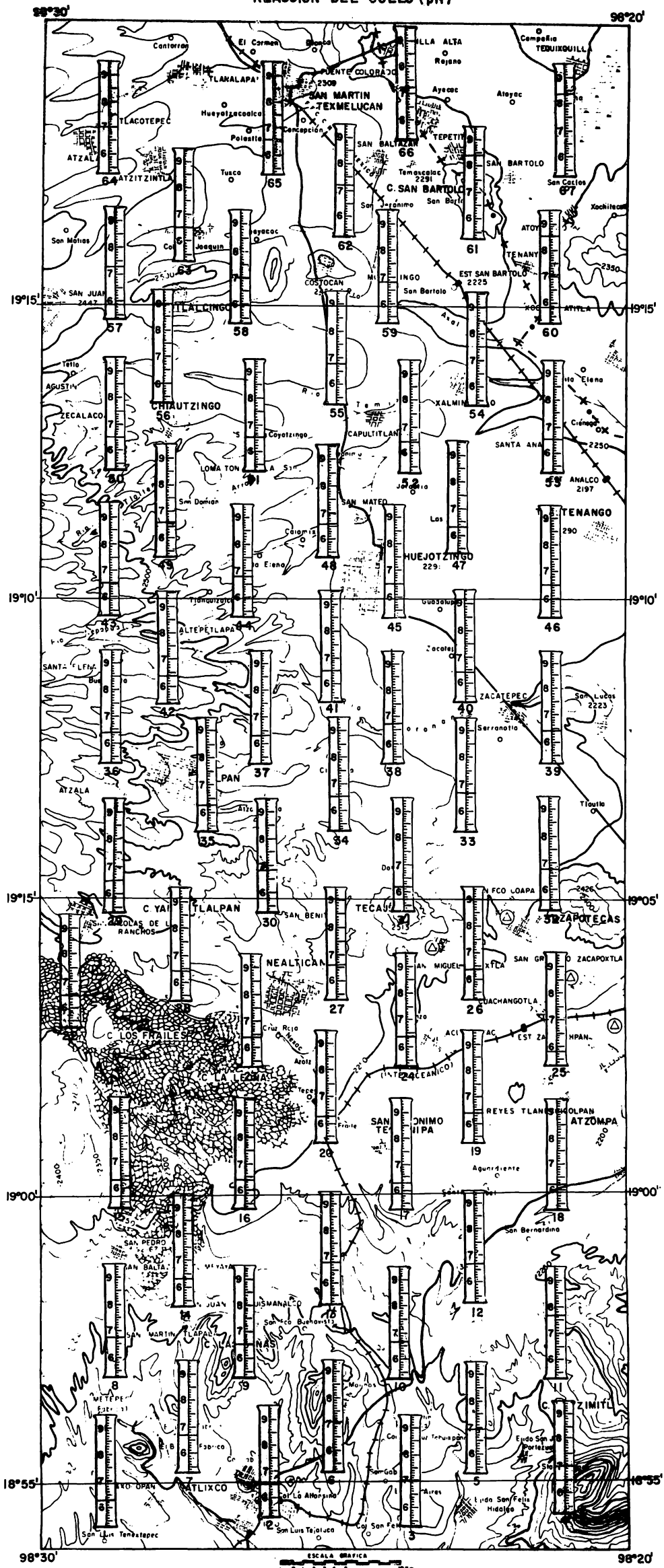
MUESTRA	Profundidad en cm.	gramos de muestra	ml. de agua destilada	Lecturas de pH		
				1a.	2a.	Promedio
24	0-30	10	20	6.40	6.45	6.42
25	0-30	10	20	5.90	5.85	5.87
26	0-30	10	20	6.45	6.50	6.47
27	0-30	10	20	6.60	6.70	6.65
28	0-30	10	20	6.50	6.35	6.42
29	0-30	10	20	6.60	6.65	6.62
30	0-30	10	20	6.80	6.70	6.75
31	0-30	10	20	6.20	6.15	6.17
32	0-30	10	20	6.80	6.90	6.85
33	0-30	10	20	6.80	6.65	6.72
34	0-30	10	20	6.50	6.55	6.52
35	0-30	10	20	6.15	6.30	6.22
36	0-30	10	20	6.60	6.60	6.60
37	0-30	10	20	6.30	6.30	6.30
38	0-30	10	20	6.80	6.70	6.75
39	0-30	10	20	6.40	6.50	6.45
40	0-30	10	20	6.50	6.40	6.45
41	0-30	10	20	6.50	6.50	6.50
42	0-30	10	20	6.50	6.45	6.47
43	0-30	10	20	6.60	6.55	6.57
44	0-30	10	20	6.80	6.70	6.75
45	0-30	10	20	6.50	6.50	6.50

REACCION DEL SUELO

MUESTRA	Profundidad en cm	gramos de muestra	ml. de agua destilada	Lecturas de pH		
				1a.	2a.	Promedio
46	0-30	10	20	6.60	6.65	6.62
47	0-30	10	20	6.40	6.50	6.45
48	0-30	10	20	6.70	6.60	6.65
49	0-30	10	20	6.70	6.60	6.65
50	0-30	10	20	6.65	6.70	6.67
51	0-30	10	20	6.70	6.80	6.75
52	0-30	10	20	6.50	6.40	6.45
53	0-30	10	20	6.50	6.55	6.52
54	0-30	10	20	9.05	9.00	9.02
55	0-30	10	20	7.10	6.95	7.02
56	0-30	10	20	6.40	6.30	6.35
57	0-30	10	20	7.30	7.35	7.32
58	0-30	10	20	7.10	7.00	7.05
59	0-30	10	20	6.70	6.70	6.70
60	0-30	10	20	8.50	8.50	8.50
61	0-30	10	20	7.45	7.30	7.37
62	0-30	10	20	6.90	7.00	6.95
63	0-30	10	20	7.00	7.00	7.00
64	0-30	10	20	6.95	6.85	6.90
65	0-30	10	20	6.65	6.70	6.67
66	0-30	10	20	7.20	7.30	7.25
67	0-30	10	20	8.40	8.45	8.42

REGION ATLIXCO - SAN MARTIN TEXMELUCAN, PUEBLA

REACCION DEL SUELO (pH)



XI.- SUELOS PROBLEMA EN LA REGION.

La alcalinidad y la salinidad del suelo reducen la productividad y el valor de las tierras agrícolas. Los suelos salinos y alcalinos son los que han sido afectados por las sales solubles, principalmente cloruros y sulfatos de calcio, sodio y magnesio.

Los suelos afectados por las sales son suelos problema que requieren medidas especiales de recomendación y determinadas practicas de manejo.

Las sales solubles pueden dañar a los suelos incrementando la concentración de la solución del suelo y aumentando el porcentaje de saturación del complejo de absorción del suelo con sodio. Los efectos secundarios ocurren cuando predominan las sales de sodio, las cuales son más permanentes que otras, debido a que usualmente el sodio absorbido persiste después de que han sido eliminadas o removidas la mayoría de las sales solubles.

Los suelos alcalinos contienen generalmente un exceso de sodio absorbido. Los suelos salinos contienen cantidades excesivas de sales solubles. Debido a que puede haber ocurrido previamente una lixiviación, los suelos alcalinos no siempre contienen exceso de sales solubles; se les designa como suelos no-salinos-alcalinos o suelos salinos - alcalinos, de acuerdo con su contenido de sales.

Los suelos afectados por las sales se encuentran habitualmente en regiones de clima árido o semiárido. Bajo condiciones de humedad, las sales solubles originalmente presentes en los materiales del suelo y las que se forman por intemperismo de los minerales, generalmente son transportadas a niveles más bajos del suelo con el agua y finalmente son arrastradas por las corrientes a los océanos.

En las regiones áridas la lixiviación y transportación de las sales a los océanos no es tan completa como en las regiones húmedas. Usualmente la lixiviación es de

carácter local y esto hace que las sales solubles no sean transportadas muy lejos. Esto se debe a que siendo menor la precipitación pluvial es menor también la lixiviación y transportación por lo que las sales tienden a concentrarse en los suelos y aguas superficiales.

Normalmente se forma un suelo salino en aquellos lugares donde se reciben sales de otras partes, siendo el agua el vehículo principal. La restricción o reducción del drenaje contribuye comunmente a la salinización de los suelos y puede implicar una baja permeabilidad de estos o la presencia de una elevada lámina de agua subterránea.

Las láminas altas de agua subterránea se relacionan a menudo con la posición topográfica, por ejemplo: el drenaje de las aguas desde terrenos altos de valles y cuencas puede elevar el nivel de las aguas subterráneas hasta cerca de la superficie del suelo en las tierras más bajas. La baja permeabilidad del suelo ocasiona mal drenaje al impedir el movimiento descendente del agua al interior del suelo. Este impedimento puede ser el resultado de una textura desfavorable o la presencia de capas subterráneas duras.

Este último caso es el que se presenta en la región de estudio. En la interpretación de la reacción del suelo, encontramos la zona de suelos muy alcalinos en la región noreste del mapa en cuestión, que comprende una zona baja rodeada por una serie de elevaciones que empiezan en el norte con las colinas de Ixtacuixtla y los llamados Cerros Blancos, al este se encuentran los cerros de Texoloc o Zompitcatl, al sureste el cerro de San Miguel cuyas líneas de nivel se aprecian pegadas al margen del mapa, y en el occidente de la zona de suelos alcalinos se encuentra el cerro de San Bartolo. Al centro de estas elevaciones se localiza la laguna de San Damián y circundándola es factible determinar que el manto freático de los suelos problema está muy cerca de la superficie con una gran cantidad de sales disueltas las cuales se incorporan al suelo por capilaridad dán dole al suelo su condición de alcalino.

Debido a la presencia de cargas eléctricas negativas las partículas de suelo absorben cationes y los retienen, principalmente los de calcio, magnesio y sodio. Mientras los cationes absorbidos están químicamente combinados con las partículas de suelo, pueden ser reemplazados o intercambiados por otros cationes que son añadidos a la solución del suelo. Ahora bien, cada suelo posee una capacidad para absorber e intercambiar cationes y al porcentaje de esta capacidad se le llama porcentaje de sodio intercambiable. Este porcentaje en suelos alcalinos es usualmente de 15 ó más.

Como los cationes absorbidos en las partículas de suelo pueden intercambiarse libremente con los de la solución del suelo, las proporciones de los diversos cationes absorbidos están en relación con su concentración en la solución del suelo, siendo en ésta los principales cationes el calcio y el magnesio.

Cuando los suelos normales quedan en contacto con las aguas de riego o de drenaje que contienen una elevada proporción de sodio, este catión se torna dominante en la solución del suelo y reemplaza a una parte del calcio y del magnesio originalmente absorbida, dando lugar a la formación de suelos alcalinos.

La concentración alta de sales en la solución del suelo reduce la proporción de absorción de agua por las plantas, y en consecuencia, se retarda el crecimiento de éstas. Este retraso del crecimiento casi siempre se relaciona directamente con la concentración total de sal en la solución del suelo y en gran parte es independiente de la clase de sales presentes.

Para delimitar la zona que presenta problema alcalino, se determinó la conductividad eléctrica a las muestras 54, 60 y 67 de acuerdo con el procedimiento siguiente:

1. Materiales:

Puente de conductividad eléctrica Industrial Instruments Modelo RC16, tipo celda de inmersión.

Bomba de succión.

Matraz para vacío.

Embudo Gooch con capacidad suficiente para la pasta saturada de 500 gramos de suelo.

Papel filtro adecuado.

Termómetro.

2.- Procedimiento.

a) Filtrar la pasta saturada hasta obtener el suficiente extracto para cubrir la celda de inmersión.

b) Poner el extracto en un frasco adecuado e introducir la celda de inmersión, teniendo cuidado de que ésta no toque las paredes ni el fondo del recipiente.

c) Ejecutar la lectura de la conductividad eléctrica teniendo cuidado de comprobar ésta haciendo lecturas en el multiplicador: 0.01, 0.1, 1, 10, 100; o bien donde chequen dos lecturas en diferente multiplicador.

d) Tomar la temperatura del extracto en cuestión.

3.- Cálculo:

$$CE = \frac{K}{R} \text{ mhos/cm}$$

La conductividad obtenida por esta fórmula debe multiplicarse por el factor de corrección de temperatura de la tabla 15 del Manual 60 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, obteniéndose la conductividad eléctrica a 25°C.

Para obtener el resultado en mmhos/cm se emplea la fórmula siguiente:

$$CE \times 1000 \text{ a } 25^{\circ}\text{C} = \frac{K \times ft \times 1000}{R} \text{ mmhos/cm}$$

CE = conductividad eléctrica.

K = constante del aparato = 1.002378

ft = factor de temperatura.

R = resistencia (lectura del puente de CE).

Ejemplo: Muestra 54

Temperatura 22°C

ft = 1.064

R = 32

$$\begin{aligned} \text{CE x 1000 a } 25^{\circ}\text{C} &= \frac{1.002378 \times 1.064 \times 1000}{32} = 33.329068 \\ &= 33.33 \text{ mmhos/cm} \end{aligned}$$

De acuerdo con este resultado, la muestra procede de un suelo problema.

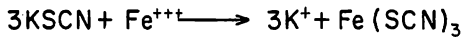
MUESTRA	% ARENA	% ARCILLA	% LIMO	pH	CEx1000 a 25°C
54	72.6	8.0	19.4	9.02	33.33
60	66.0	14.0	20.0	8.50	27.14
67	52.0	18.4	29.6	8.42	25.27

Por otra parte, al mismo tiempo que se realizaba el muestreo en la región de estudio, se iba practicando el método de campaña de Comber, encontrándose que solo en la muestra número 25 esta reacción era francamente positiva. Una vez en el laboratorio se encontró que la reacción del suelo de esta muestra acusaba un pH de 5.87 que fué el más bajo que se registró en toda la región.

La reacción de Comber consiste en tratar una muestra de suelo en un tubo de ensaye con un volumen aproximadamente doble de una solución alcohólica de sulfocianuro de potasio. Se agita bien y se deja reposar un tiempo apropiado. La intensidad del color rojo del líquido que sobrenada, si el suelo es ácido, es una indicación de la nece-

sidad de cal.

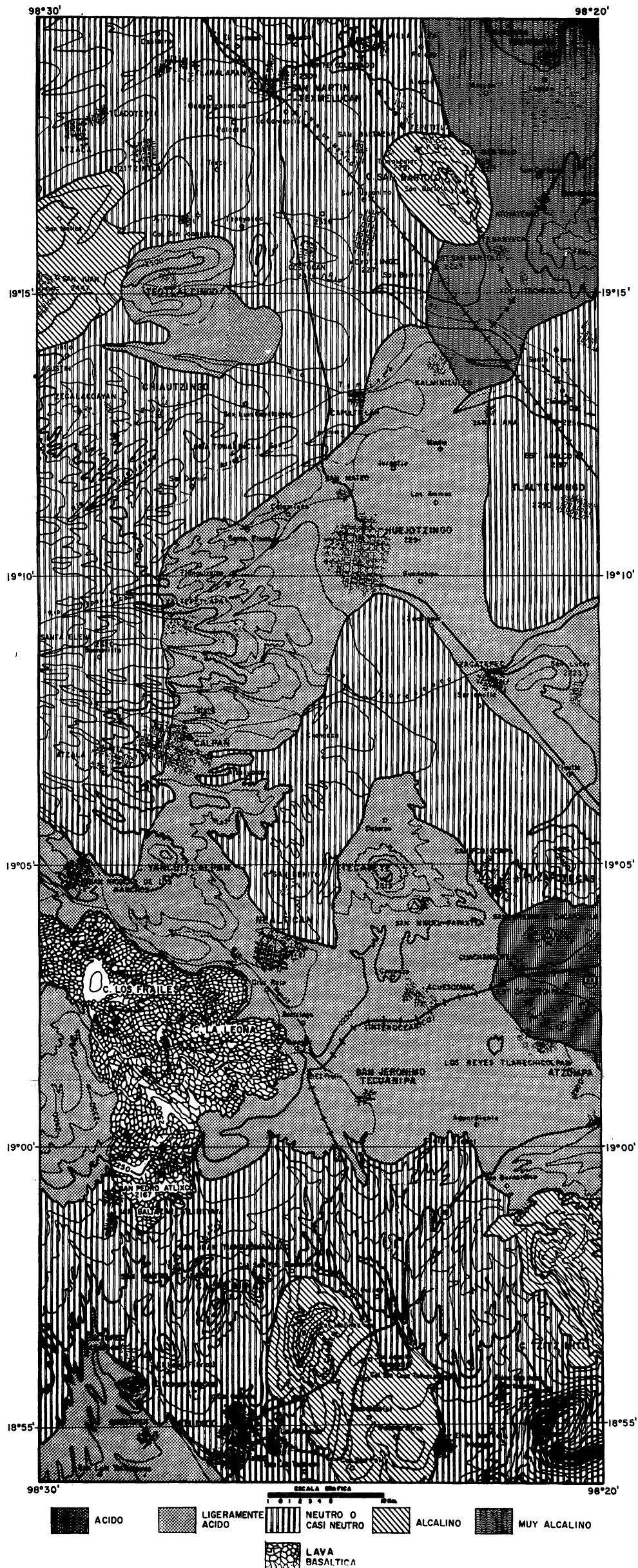
La teoría del ensayo es sencilla. A medida que disminuye el contenido de cal activa en el suelo, aumenta su acidez, al mismo tiempo aumenta la solubilidad y la actividad del fierro, y estos tres factores están correlacionados entre sí.



En presencia de fierro el sulfocianuro de potasio da un color rojo de sulfocianuro férrico, cuanto más definida es la reacción, mayor se considera la acidez del suelo y por lo tanto, mayor necesidad de cal requiere el suelo.

La zona donde la reacción de Comber fué positiva es en la parte occidental de los llamados Llanos de Cholula, al sur del cerro Zapotecas, entre San Gregorio Zacapoxtla y Atzompa, cubriendo la estación de Zacapechpan y Cuachangotla.

INTERPRETACION DE LA REACCION DEL SUELO



XII.- REHABILITACION DE LOS SUELOS PROBLEMA.

Para la rehabilitación de los suelos problema que se encontraron atacaremos primero el concerniente a los suelos alcalinos de la parte noreste de la región en estudio.

Los suelos alcalinos presentan propiedades similares a las de los suelos salinos cuando se encuentran presentes cantidades considerables de sales solubles. Si se elimina este exceso de sales por medio de lixiviación, los suelos salinos-alcalinos se vuelven no-salinos-alcalinos y sus propiedades físicas se menoscaban sensiblemente.

Al reducir la concentración de las sales en la solución del suelo mediante la lixiviación, el sodio absorbido presente hace que se desarrollen características indeseables. El suelo puede volverse fuertemente alcalino con lecturas de pH superiores a 9.0, se pueden dispersar las partículas formándose una mala estructura y el suelo se vuelve desfavorable para la entrada y la movilización del agua y del aire. El sodio absorbido también puede ser tóxico y causar diferentes alteraciones en la nutrición de las plantas.

Los suelos salinos se mejoran mediante el establecimiento de drenes artificiales si existe una lámina alta de agua subterránea y con el subsecuente lixiviado con agua de riego para remover el exceso de sales solubles.

El mejoramiento de los suelos alcalinos implica además del drenaje y lixiviado el reemplazamiento del sodio absorbido por calcio o magnesio y el uso de prácticas que desarrollen una buena estructura del suelo.

El drenaje adecuado es esencial para el mejoramiento permanente de los suelos salinos y alcalinos. Las operaciones de lixiviación y la aplicación de enmendantes para reemplazar el sodio absorbido no serán efectivas a menos que el agua subterránea es-

té lo bastante profunda para que no ascienda hacia la superficie.

Los suelos pueden lixiviarse aplicando agua en la superficie y dejándola que se infiltre hasta la zona de las raíces. El lixiviado es más eficiente cuando es posible estancar el agua sobre toda la superficie del suelo; esto se logra construyendo bordos de tierra de 60 a 120 cm. de altura, formando cuencas en las que se deposite el agua.

Puede emplearse también inundación continua o aplicaciones periódicas. El secado periódico usualmente ayuda a mantener las proporciones o magnitudes de infiltración. Cuando la topografía del terreno no permite el estancamiento, se puede obtener un lixiviado moderadamente efectivo mediante frecuentes aplicaciones de abundante agua de riego en canales o acequias o en los surcos o mediante aspersores.

La cantidad de agua necesaria para lavar o lixiviar los suelos salinos depende del nivel inicial de salinidad del suelo, así como del nivel final de salinidad deseado.

Cuando se estanca el agua se puede remover alrededor del 50 por ciento de la sal existente en la zona de las raíces, lo que se logra con una lámina de 6 pulgadas (15 cm) de agua por cada pie (30 cm.) de zona radial; se remueve como el 80 por ciento con un pie de agua por cada pie de suelo y como el 90 por ciento de las sales si se usan 2 pies (60 cm.) de agua por cada pie de suelo.

Por ejemplo, el promedio de salinidad leído en la muestra 54 fué de 34 miliosmos por centímetro, entonces se deben aplicar 90 cm. de agua para 3 pies de profundidad.

Si no se aplica el agua sobre toda la superficie, se necesitarán cantidades algo más grandes para obtener este grado de lixiviación. Al estimar la cantidad de agua requerida se deben tener en cuenta las pérdidas por evaporación.

La remoción de las sales solubles excedentes no es suficiente para restaurar la productividad en los suelos alcalinos. Es necesario reemplazar la mayor parte del sodio

absorbido por magnesio o calcio y usualmente se necesita también mejorar la estructura del suelo.

Algunos suelos alcalinos contienen sulfato de calcio en forma de yeso mineral. Cuando se hace el lixiviado en estos suelos el yeso se disuelve y entonces, al remover la sal excedente, ocurren simultáneamente esta remoción y el reemplazamiento del sodio absorbido por el calcio. Si el suelo alcalino no tiene naturalmente yeso, debe proporcionársele calcio o magnesio soluble. Algunas aguas de riego contienen cantidades apreciables de calcio y magnesio pero comunmente es necesario aplicar un enmendante químico para devolver la productividad a los suelos alcalinos al cabo de un período razonable de tiempo.

Los enmendantes químicos para reemplazar al sodio absorbido son de tres tipos: sales solubles de calcio (cloruro de calcio y yeso); sales de calcio de baja solubilidad (piedra caliza), y ácidos o formadores de ácido (ácido sulfúrico, azufre o sulfato de hierro y aluminio).

La conveniencia de los distintos tipos de enmendantes se rige primordialmente por su solubilidad por el contenido de cal y por las lecturas del pH del suelo.

Cualquiera de los enmendantes mencionados se puede usar en los suelos alcalinos que contengan cal, pero no será de utilidad la adición de piedra caliza. Los enmendantes ácidos o acidógenos reaccionan con la cal del suelo para formar yeso. La adición de estos enmendantes a los suelos que no tienen cal, tenderá a hacerlos ácidos. Cuando la cantidad de enmendante acidógeno hiciera a un suelo demasiado ácido (pH de 6 o menor), la elección del enmendante se limita a las sales solubles de calcio. La aplicación de piedra caliza sola a suelos alcalinos libres de cal tiende a ser benéfica, pero su efectividad no es importante por su baja solubilidad.

La elección de un enmendante depende generalmente del costo y del tiempo requerido para su reacción en el suelo. Los enmendantes más baratos son de reacción más lenta. Debido a su alta solubilidad en el agua el cloruro de calcio es probablemente la mejor fuente de calcio soluble, pero raramente se le usa por su costo elevado. El ácido sulfúrico y los sulfatos de aluminio y fierro, que se descomponen fácilmente en el suelo para formar ácido sulfúrico, también actúan rápidamente. A veces el ácido sulfúrico tiene un precio bajo para aplicaciones en el campo, pero su manejo es muy peligroso, mientras que los sulfatos de fierro y aluminio son comunmente caros. Por estas razones los enmendantes más comunes y de costo más bajo son el yeso y el azufre.

La magnitud de la reacción del yeso sólo es limitada por su solubilidad. Bajo condiciones de campo la aplicación de tres o cuatro pie-acre de agua de riego es lo que normalmente se necesita para disolver cuatro o cinco toneladas de yeso agrícola de alto grado.

El azufre es de acción lenta debido a que antes de volverse disponible, primero debe ser oxidado para convertirlo en ácido sulfúrico por los microorganismos del suelo.

La piedra caliza es un enmendante relativamente barato, pero sólo ocasionalmente es útil, ya que la mayoría de los suelos alcalinos contienen cal.

El ingeniero Pablo Pelletier C. en su obra "Trece Temas Sobre Fertilizantes" publicado por Guanos y Fertilizantes de México, S. A. establece que: " si la reacción del suelo es de un pH de 7.0 a 8.0 será suficiente con someter un suelo de textura ligera a un tratamiento de lavado trazando anticipadamente los drenes necesarios; en este mismo caso también sería pertinente la adición de materia orgánica o la siembra de abonos verdes. Suponiendo que la reacción fuera mayor de un pH de 8.0 pero menor de 8.5,

se podría corregir mediante la aplicación de 3 toneladas por hectárea de yeso, combinado con lavados y materia orgánica, o bien, con 675 kilogramos de azufre, también combinado con lavados y materia orgánica. Para valores arriba de pH de 8.5 el suelo requerirá de 5 toneladas por hectárea de yeso o 1.25 toneladas de azufre, juntamente con la aplicación abundante de materia orgánica".

Las muestras problema nos dan valores de pH desde 8.42 hasta 9.02 como valores promedio, por lo que aplicando las dosificaciones del ingeniero Pelletier tenemos que suministrarle al suelo 5 toneladas de yeso por hectárea o 1.25 toneladas de flor de azufre para rehabilitar los suelos alcalinos problema.

Los enmendantes como el yeso, azufre y piedra caliza, normalmente se aplican al voleo y luego se incorporan al suelo por medio de disco o arado. Una buena incorporación es importante cuando se usa azufre a fin de obtener una reacción satisfactoria.

Salvo cuando se usa yeso deben lavarse o lixivarse inmediatamente los suelos alcalinos después de aplicar los enmendantes. La lixiviación disuelve los enmendantes y los transporta hacia el interior del suelo; además, el lixiviado remueve las sales solubles de sodio, de manera que el sodio absorbido es reemplazado por el calcio.

Cuando se aplica azufre no se hace la lixiviación sino dos o tres meses después, a fin de que tenga tiempo de oxidarse y de convertirse en yeso; sin embargo, el suelo debe conservarse húmedo, ya que el agua es esencial para la oxidación del azufre.

Si la estructura de los suelos salino-alcalinos es originalmente buena, tenderá a conservarse así, durante la remoción del exceso de sales y del sodio absorbido, si no se remueve el suelo y se aplica calcio soluble en proporción adecuada. En este caso la labranza debe reducirse al mínimo y se evitará el uso de maquinaria durante el proceso

de mejoramiento.

Los suelos alcalinos relativamente libres de sal tienen una estructura normalmente pobre. En este caso, el proceso de mejoramiento podrá facilitarse aflojando el suelo a una profundidad considerable con arado de subsuelo o arado profundo, antes de aplicar los enmendantes y el lixiviado.

Sin embargo, la efectividad de arar profundamente los suelos alcalinos es duda a menos que se aplique el enmendante y aún después de remover el sodio absorbido, la estructura puede continuar siendo pobre. Los reacomodamientos y agregamientos de las partículas de suelo y el mejoramiento de la estructura se facilitan mediante humedecimiento y secado alternados, por la acción de las raíces de las plantas en crecimiento y por la materia orgánica.

No todas las plantas tienen el mismo comportamiento con respecto a la reacción del suelo. Algunas se desarrollan mejor cuando el pH es inferior al punto neutro, otras prosperan de preferencia alrededor de un pH de 7.0 y finalmente, algunas prefieren reacciones alcalinas.

El cuadro siguiente nos indica la relación de algunas plantas con la reacción del suelo.

Es de hacer notar los excelentes resultados que se han estado obteniendo con el cultivo de la remolacha azucarera en suelos alcalinos. Este cultivo además de emplearse como abono verde se usa como pastura, desarrollándose con muy buenos rendimientos en suelos semejantes al que tratamos de corregir. Las características de este cultivo son las siguientes:

Variedades: Verde-blanco y Roja Gigante Mamut.

Epoca de Siembra: Del 1o. de marzo al 30 de abril para siembras de primavera y del 1o. de julio al 31 de agosto para siembras de verano.

Método de Siembra. - Siémbrese a chorrillo en surcos separados 60 centímetros.

La siembra puede hacerse en húmedo o en seco. A los 40 días después de la siembra, hágase un aclareo para dejar las plantitas a 30 centímetros una de otra.

Densidad de la Siembra: 20 Kg/Ha para siembra en seco y 18 Kg/Ha para siembras en húmedo.

Fertilización: Cuando se emplee algún fertilizante, se recomienda su aplicación durante el sembrado.

Riegos: No se tiene información experimental acerca del calendario de riegos más convenientes para la remolacha. Sin embargo, se sugiere dar riegos ligeros, ya que el exceso de humedad propicia pudriciones en la raíz. Si se siembra en seco, el riego de germinación debe ser lento para evitar el arrastre de la semilla.

Labores Culturales: Manténgase el cultivo libre de malezas con deshierbes periódicos, especialmente durante los primeros 30 días. Deben suspenderse los cultivos con arado a los dos meses para evitar dañar las plantas.

Plagas: Las variedades de remolacha propuestas son resistentes a los nematodos.

Enfermedades: Carecen de importancia económica.

Cosecha: Puede iniciarse a los 120 días después de la fecha en que nazcan las primeras plantitas. Para cosechar, se puede emplear una cuchilla o un arado que remueva la tierra lo más bajo posible, con el fin de desprender fácilmente las remolachas. Coséchese conforme se vaya necesitando el forraje.

Estas son en términos generales las recomendaciones para el cultivo de la remolacha en la región problema que se trata de rehabilitar. La introducción de este cultivo incrementará el rendimiento del maíz en las cosechas subsecuentes, además de mejorar

notablemente las condiciones físicas del suelo.

La otra zona problema que se tiene en la región, es la que corresponde a la muestra número 25 que presenta un pH de 5.87. Esta zona, como ya se ha indicado, es la que corresponde a la parte occidental de los Llanos de Cholula, al sur del cerro Zapotecas, entre San Gregorio Zacapoxtla y Atzompa, cubriendo la estación de Zacapechpan y Cuachangotla.

Estos suelos ácidos son susceptibles de una fácil rehabilitación por medio de una encaladura, que, en este caso, viene siendo el enmendante ideal. La necesidad de aplicar cal a los suelos ácidos será determinada, desde luego, por la reacción del suelo. La pérdida de este elemento es debida principalmente a la textura ligera del suelo donde fácilmente es eliminado en el agua de drenaje.

Los efectos que se obtienen con las encaladuras se consideran desde tres puntos de vista diferentes:

Efectos físicos.— En un suelo ácido se fomenta en parte una estructura granular deseable por la adición de cualquier forma de cal. Esta granulación, se debe en parte, a la floculación, pero más a la influencia que tiene la cal sobre las fuerzas bióticas, especialmente las que intervienen en la descomposición de la materia orgánica del suelo y la síntesis del humos el cual fomenta la granulación.

Efectos químicos.— Considerando las reacciones químicas, las encaladuras producen muchas transformaciones complicadas en los suelos. Agregada en cantidades apropiadas reduce la concentración de iones H^+ del suelo y tiende a insolubilizar ciertos cationes metálicos como el aluminio, fierro y manganeso. Esto no es inconveniente en cuanto al aluminio que es tóxico para muchas plantas, pero un exceso de cal podría crear una deficiencia de fierro y de manganeso. La clorosis observada en las plantas como consecuencia de una encalado en exceso puede ser debida a esa fijación química.

La cal tiene una gran importancia en relación con el fósforo, Al fijar el hierro y el aluminio se reduce la transformación de los fosfatos solubles en combinaciones no asimilables de hierro y de aluminio. Pero, por otro lado, un exceso de cal puede llevar el pH a más de 7, lo cual facilita la formación de fosfatos de calcio no asimilables.

La liberación de elementos nutritivos minerales por agregados de cal al suelo, particularmente el potasio, es dudosa, pero debe realizarse en pequeña escala. El proceso es probablemente una transformación química y biológica coordinada, muy complicada.

Entre los efectos específicos del encalado que ya hemos mencionado, la reducción de la acidez y el aumento del pH son los más objetivos. La simple corrección de la reacción del suelo es, en sí misma y en cuanto se refiere a las plantas y a los microorganismos, muy importante aumentando directamente los factores de nutrición.

Efectos biológicos.— Las encaladuras tienen una gran importancia sobre los organismos del suelo que transforman la materia orgánica en humus y los compuestos nitrogenados en nitrógeno asimilable aumentando los procesos enzimáticos. La estimulación de los procesos enzimáticos no solamente favorece la formación del humus, sino que fomenta además la eliminación de ciertos productos orgánicos intermedios que pueden ser tóxicos para las plantas.

El encalado favorece a la mayoría de los organismos deseables del suelo, y también algunos de los no deseables, como los que producen la sarna de la papa. El calcio activo acelera marcadamente la aminación, la amonificación y la oxidación del azufre. Estimula especialmente las bacterias que fijan el nitrógeno del aire.

La nitrificación, fenómeno biológico importante, exige la presencia de cationes metálicos activos entre los cuales el principal es el calcio; si no existe una propor -

ción adecuada de calcio en el suelo esa transformación se hace muy lenta. La proliferación de la mayoría de los microorganismos del suelo depende tan estrechamente del contenido de cal, que no podrán tener lugar ciertas actividades biológicas si el contenido de calcio y de magnesio del suelo disminuye a menos de un cierto valor.

El ingeniero Pablo Pelletier C. recomienda, para suelos ligeros, la aplicación de 0.5 toneladas de caliza por hectárea por cada grado de pH. Dado que el suelo problema tiene un pH promedio de 5.87 la cantidad de cal por aplicar será de :

$0.5 \times (7 - 5.87) = 0.5 \times 1.13 = 0.565$ toneladas de caliza por hectárea o su equivalente (una tonelada de caliza común finamente molida es equivalente a 0.7 toneladas de hidróxido comercial y a 0.5 toneladas de un óxido común).

La cal se aplica mejor en los terrenos arados y se incorpora al suelo en las operaciones previas a la siembra, debe tenerse el cuidado de mezclar íntimamente la cal con el espesor de la capa arable para rehabilitar el suelo.

CULTIVO	SUELOS ALCALINOS, NEUTROS O MUY LIGERAMENTE ACIDOS	SUELOS LIGERAMENTE ACIDOS	SUELOS FUERTES Y MUY FUERTEMENTE ACIDOS
ALFALFA	████████████████████		
TREBOL	████████████████████		
REMOLACHA AZUCARERA	████████████████████		
LECHUGA	████████████████████		
COLIFLOR	████████████████████		
REPOLLO	████████████████████		
CEBADA		████████████████████	
TRIGO		████████████████████	
MAIZ		████████████████████	
TOMATE		████████████████████	
AVENA		████████████████████	
TREBOL ENCARNADO		████████████████████	
POROTO		████████████████████	
VICIA		████████████████████	
MIJO		████████████████████	
CAUPI		████████████████████	
LESPEDAZA		████████████████████	
CENTENO		████████████████████	
SARRACENO		████████████████████	
TABACO		████████████████████	
PAPA		████████████████████	
AZALEA			████████████████████
RODO DENDRO			████████████████████

LYTTLETON Y BUCKMAN

XIII.- CONCLUSIONES.

Del análisis de los valores obtenidos en la reacción del suelo, de las distintas muestras analizadas en el laboratorio, se delimitaron dos zonas con suelos que se consideraron problema:

A) Muy alcalino; comprende la zona baja rodeada por una serie de elevaciones que empiezan en el norte con las colinas de Ixtacuixtla y los Cerros Blancos, al este el cerro de Texoloc o Zompitcatl, al sureste el cerro de San Miguel y al oeste el cerrro de San Bartolo.

B) Acido; se localiza al sur del Cerro Zapotecas entre San Gregorio Zacapoxtla y Atzompa, cubriendo la estación de Zacapecpan y Cuachangotla.

En un suelo muy alcalino las plantas no pueden aprovechar eficientemente los nutrientes que contiene el suelo, ni los que se agreguen como fertilizantes.

Es relativamente fácil corregir un suelo ácido, pero mejorar un suelo alcalino presenta más dificultades. El empleo de azufre es lo más efectivo para corregir alcalinos, el cual, para que pueda ser aprovechado por las plantas, requiere que esté finamente dividido, o sea en forma de flor de azufre. El sulfato de amonio es un fertilizante nitrogenado que contiene azufre en forma adecuada para que las plantas puedan aprovecharlo como nutriente y como mejorador de suelos alcalinos.

Empleando las dosificaciones del ingeniero Pablo Pelletier, la zona A se rehabilita con 5 toneladas por hectárea de yeso, o bien, 1.25 toneladas de flor de azufre. Estos enmendantes se aplican, normalmente, al voleo y después se incorporan al suelo por medio de disco o arado.

Para corregir la zona B, es necesario recurrir a una encaladura, que en este caso, es el enmendante ideal. La dosificación que se determinó fué de 0.565 toneladas

- 87 -

de caliza por hectárea o bien su equivalente: 0.395 toneladas de hidróxido comercial ó
0.282 toneladas de óxido común.

-

XIV. BIBLIOGRAFIA.

- Blair, W. A. " The Influence of Soil Reaction (pH)", New Jersey. Agricultural Experiment Station, 1945. U.S.A.
- Chapman, H. D. y Pratt, P. " Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters". Univ. of. California. Division of Agricultural Science, 1960. U.S.A.
- De la O, A. " La Erosión en la Cuenca Alta del Río Atoyac, Afluente del Balsas". Irrigación en México, Vol. IX. Num. 1. 1934. México.
- Duchaufour, P. A. " Précis de Pédologie". Masson et Cia. 1960. Francia.
- Franco, F. " Geografía de Puebla". Ed. El Nacional. 1951. México.
- González, G. A. " Introducción al Estudio de los Suelos". Ediciones Omega. 1964. España.
- Gutiérrez, C. M. " Análisis Químico Cuantitativo". Inst. Politécnico Nac. 1962. México.
- Holmes, A. " Geología Física". Ediciones Omega. 1962. España.
- Jackson, M. L. " Análisis Químico de Suelos". Ediciones Omega, 1964. España.
- Jáuregui, O. E. "Mesoclima de la Región Puebla-Tlaxcala". Inst. de Geografía, UNAM. 1967, México.
- Knight, H. "Soil Macro-Nutrient Elements: Distribution, Forms and Methods of Analysis". Forestal Departmen, Washington. D.C. 1964, U. S. A.
- Köppen, W. " Climatología". Fondo de Cultura Económica, 1948. México.
- Parra, G. R. " Puebla en Cifras". Talleres Gráficos de la Nación. 1954. México.
- Plan Lerma, Asistencia Técnica "Meteorología". Boletín No. 3. 1967. México.
- Richards, L. A. " Suelos Salinos y Sódicos". Manual de Agricultura 60. Dep. de Agr. De los Estados Unidos de Norteamérica, 1954. U. S. A.

- Riesenfeld, H. E. " Tratado de Química Inorgánica". Editora Nacional. 1959. México.
- Samano, P. C. " Mapa de Suelos de México". Tesis Profesional, 1966. México.
- Soto, C. y Jáuregui E. " Isotermas Extremas e Índice de Aridez en la República Mexicana". Inst. de Geografía, UNAM. 1965. México.
- Tamayo, J. " Geografía General de México". Inst. Mexicano de Investigaciones Económicas, 1962. México.
- Villarreal, D. E. " pH Teoría y Práctica". UNAM. 1967. México.
- Vivó, J. A. "Climatología de México". Inst. Panamericano de Geografía e Historia, Publicación 19, 1946. México.
- _____ " Geografía de México" Fondo de Cultura Económica, 1958. México.
- _____ " La Conquista de Nuestro Suelo" .Ed. de la Cámara Nac. de la Industria de Transformación, 1958. México.
- Waitz, P. " Los Suelos de México y las Posibilidades de Futuros Desarrollos Agrícolas ". Irrigación en México, Vol. XXIII, Núm. 6, 1942. México.
- Yarza, E. " Los Volcanes de México". Ediciones de la Soc. Mexicana de Geografía y Estadística. 1948. México.