

SECRETARIA DE INDUSTRIA COMERCIO Y TRABAJO

DEPARTAMENTO DE EXPLORACIONES Y ESTUDIOS GEOLOGICOS

JEFE DEL DEPARTAMENTO Y DIRECTOR DEL INSTITUTO GEOLOGICO, ING. JUAN D. VILLARELLO

---

---

110.

# ANALES

DEL

# INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO

TOMO II. NUMEROS 1 2 Y 3



TALLERES GRAFICOS DE LA NACION

MEXICO.-1925

## CIRCULACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN LA FALDA OCCIDENTAL DEL IZTACCIHUATL

POR EL ING. TRINIDAD PAREDES

*Geografía e Historia*

El Iztaccíhuatl es uno de los aparatos volcánicos más altos de la zona tórrida, situado a los 19° 10' 42" latitud N. y 0° 27' 39" longitud Este de México; forma parte de la sierra Nevada llamada también sierra de Ahualulco, sierra que se interpone entre las planicies de México y de Puebla, formando el límite oriental de la parte conocida como valle de México y el límite occidental del valle de Puebla.

La sierra Nevada tiene una dirección general de Sur a Norte, de una extensión relativamente corta, como de 90 kilómetros, entre los paralelos 18° 50' y 19° 47' latitud Norte y sus puntos culminantes están entre los 25° y 30' de longitud al Oriente del meridiano de México; sus unidades principales son: el Popocatepetl, que es la montaña más alta y la más al Sur de la sierra; al Norte el Iztaccíhuatl, después el Papayo, el Telapón, el Tlaloc, y otros menos importantes.

Las dos primeras: El Popocatepetl y el Iztaccíhuatl son los más notables, porque elevan sus cumbres más allá de las nieves persistentes realizando sobremanera la belleza de las altiplanicies de México y de Puebla, distando sus puntos culminantes alrededor de diecisiete kilómetros.

Los nombres de estas dos montañas, como casi todos los nombres puestos por nuestros antiguos pobladores, son conotativos: Iztaccíhuatl, viene de Ixtac, "cosa blanca," y cíhuatl, "mujer;" *mujer blanca* porque en efecto, parece una mujer yacente cubierta por un manto blanquísimo con la cabeza hacia el Norte, los pies hacia el Sur, y el pecho entre esos dos extremos más alto y más cerca de la ca-

beza. Popocatepetl, viene de Popoca "que humea" y tépetl "monte blanco" *montaña que humea*," en alusión a su penacho de humo que nuestros aborígenes vieron constantemente sobre la montaña, que después fué intermitente y desde hace unos años poco más o menos ha desaparecido.

La tradición azteca los mezcla en un pequeño poema, que refiere que esa mujer era una diosa que cometió un crimen, por lo que fué muerta y para siempre obligada a permanecer en el lugar; Popocatepetl, siendo su amante, no quiso abandonar a su adorada y permaneció a su lado dando rienda suelta a su dolor; por tiempos derramaba lágrimas ardorosas que invadían los campos como corrientes de lavas, y de su pecho salían suspiros profundos y gemidos formidables que hacían temblar la tierra.

El Popocatepetl con sus antiguas erupciones, sus frecuentes sacudidas, su penacho de humo y su altura colosal, fué la admiración de nuestros aborígenes y de nuestros conquistadores, quienes se encargaron de darlo a conocer en el Antiguo Mundo. Ha sido en verdad, la montaña más antiguamente explorada de América. El Iztaccíhuatl, estando tan próximo del anterior, también ha sido el objeto de esas exploraciones, pero ha presentado más dificultades y más misterios a los investigadores; a muchos, y yo con ellos, nos parece más bello, más hermoso, más difícil de resolver sobre los sucesos de su vida.

Si el Popocatepetl, no obstante de ser una montaña tan llamativa, han sido contados los exploradores que han dado cuenta de sus observaciones; al Iztaccíhuatl

han sido mucho menos; por vía de comparación enumeramos algunas expediciones de las más notables:

*Al Popocatépetl*

1. Diego de Ordaz. 1519. Acto esforzado para demostrar la superioridad de los conquistadores.
  2. Montaña y Meza. 1522-24. Ascensión sumamente notable, pues descendieron al cráter para extraer el azufre, teniendo en cuenta que el volcán era activo.
  3. El Padre Sahagún. 1529. Se supone llegó al cráter.
  4. Frederick Sonneschmidt, alemán. 1770. Llegó al Pico del Fraile.
  5. Padre Antonio Alzate. 1781. No llegó y consideró imposible que se pudiera llegar a la cima.
  6. Barón de Humboldt. 1803. No subió, determinó su altura trigonométrica.
  7. F. y W. Clennie y Taylor, ingleses. 1827. Si llegaron al cráter.
  8. S. Berkbeck, alemán. 1827. Si llegó al cráter.
  9. Frederick von Gerolt, L. Gros y F. Egerton. 1834. Hasta el Pico del Fraile.
  10. Ignacio Reyes, Antonio García y Pablo Pérez. 1849. Pusieron un malacate al borde del cráter para explotar el azufre del interior.
  11. Dos franceses. 1851. Parece que llegaron.
  12. Truqui Craverier. 1855.
  13. A. Sonntag, F. Laverrier, Salazar y Ochoa. 1857. Llegaron.
  14. A. Dolfus, L. de Montserrat y Paul Pevie. 1865. Llegó.
  15. F. Lenk. 1884. Llegó.
  16. Frederick A. Ober. 1881. Llegó.
  17. A. S. Packard. 1885. Llegó.
  18. A. Heilprin. 1889. Llegó.
  19. J. G. Aguilera y E. Ordóñez. 1895. Llegaron permaneciendo 48 horas en el interior del cráter.
  20. O. C. Farrington. 1896. Llegó.
- Y otros más en los últimos años.

*Al Iztaccíhuatl*

El Padre Sahagún. 1527. Se supone llegó a la cima.

Frederick Sonneschmidt. 1770. Llegó a los pies.

Barón de Humboldt. 1803. No llegó.

Virler de Aoust. 1853. No llegó.

A. Sonntag. 1857. No llegó.

F. Lenk y H. Topf. 1888. Sólo a los pies.

H. R. Whitehouse. 1889. No llegó.

A. Heilprin. 1889. Llegó a 150 pies abajo de la cima.

O. C. Farrington. Llegó a la nieve.

E. Ordóñez. 1893. Dos veces llegó a la nieve.

E. Ordóñez y E. Böse. 1898. Alcanzaron la cima.

Urbina, Waitz y otros muchos han subido varias veces recorriéndolo por la cabeza, el pecho y los pies, pero no han dado cuenta de sus observaciones.

No obstante ser un espectáculo tan soberbio, tan digno de la admiración de los hombres, ya sean de ciencia, poetas o sencillamente que sientan, muy poca gente excursiona por esos lugares y más poca todavía la que da cuenta de sus impresiones; parece un templo que causa tanta veneración y respeto como grande es, y al que sólo concurren algunos fervientes y constantes devotos, los "neveros" comarcanos y alguno que otro iniciado extraño; ni los unos ni los otros se atreven a profanar el sagrado lugar de sus ritos describiendo en lenguaje mundano la sublime belleza del camino del país de los paisajes, la senda que conduce a la región de las blancuras, el sitio del alto e inmaculado templo que por más tiempo ilumina el sol; sectarios egoístas que no quieren decir ni los consuelos ni las purificaciones de alma y cuerpo que les da peregrinación tan saludable; la que ciertamente no presenta grandes dificultades.

Las poblaciones más cercanas son: Amecameca y San Rafael; la primera, de unos 10,000 habitantes poco más o menos, unida a la ciudad de México por dos ferrocarriles, está situada al pie de las dos montañas, el Popocatépetl y el Iztaccíhuatl, a 2,500 metros sobre el nivel del mar; aquí se encuentran todos los elementos ne-

cesarios para hacer la ascensión de cualquier número de personas a las dos montañas; caballos, guías y víveres; sin ser abundantes los arreos propios para los campos helados del Iztaccíhuatl, como espuelas para el hielo, pértigas, etc.

San Rafael, adonde llega también el ferrocarril está situada entre las faldas del Iztaccíhuatl a 2,500 metros también hay buenos elementos para una ascensión a esta montaña, y tanto de Amecameca como de San Rafael, se puede llegar a caballo al Iztaccíhuatl, y hasta la línea de las nieves; de allí para arriba tiene

que hacerse el camino a pie; esta es la única parte difícil como consecuencia de la altura sobre el nivel del mar. Haciendo la ascensión por San Rafael, hay casas, teléfonos y demás, hasta los 3,400 metros; pero más arriba hay varias cuevas en condiciones de poder pernoctar, siendo la más conocida la cueva de Cholula, a 4,100 metros, especialmente para los que suben por Amecameca.

La altura y la posición geográfica del Iztaccíhuatl han sido determinadas varias veces como lo manifiesta el cuadro siguiente:

		Pecho	Cabeza	Pies
Humboldt.....	1803	4,785		
Félix y Lenk.....	1894	4,816		
Heilprin .....	1890	5,170		
			19°09'52"2 lat. N.	
Sonntag.....	1857	5,207	.....	5,081
			0°29'26" long. E.	5,200
Böse y Ordóñez.....	1898	5,280		
			19°10'42" lat. N.	19°11'11" lat. N.
				19°03'43" lat. N.
Comisión Geográfico				
Exploradora.....	1888	5,286	5,146	4,740
			0°29'37" long. E.	0°29'16" long. E.
				0°30' long. E.
Almazán.....	.....	5,326	.....	.....
Saussure.....	.....	.....	4,595	4,512
Sonneschmidt.....	.....	.....	.....	4,516

El Iztaccíhuatl ocupa el tercer lugar de las montañas más altas de la República Mexicana, que se colocan en el orden siguiente:

El Citlaltépetl o Pico de Orizaba .....	5,550 metros	Heilprin.
El Popocatepetl. ....	5,450 "	Aguilera y Ordóñez.
El Iztaccíhuatl.....	5,280 "	Böse y Ordóñez.
El Xinantécalt o Nevado de Toluca.....	4,565 "	Flores.
El Matlacuéyatl o Malinzi. ....	4,165 "	Ordóñez.

El Ajusco, el Nevado de Colima y otros, alrededor de los 4,000 metros sobre el nivel del mar.

A la primera de nuestras montañas sólo le supera en la parte Norte del Continente Americano, el monte Mc. Kinley, de Alaska, con 6,187 metros (1).

### Fisiografía

El Iztaccíhuatl, como lo hemos dicho, es un aparato volcánico muy alto y ya bastante destruído, en donde faltan partes del cráter, afectando en la actualidad

una forma alargada de dirección general Nornoroeste al Sursureste, que culmina en tres eminencias principales cubiertas por las nieves. La del Norte, o la cabeza, la del Sur, o los pies, y la del medio, llamada la panza, o el pecho, que es la más alta.

La fisonomía del Iztaccíhuatl difiere de la fisonomía general de la sierra Nevada, y mucho de la de algunas de las otras unidades, como del Popocatepetl; no es una montaña aislada, sino que está unida con el Papayo, al Norte, y con el Popocatepetl al Sur, pero forma una unidad clara y bien definida con la forma de un caballete, con una orientación al Nornor-

(1) Bulletin of the American Geographical Society, Vol. XLII, p. 261.

este, mucho más marcada que el conjunto de la sierra y con faldas inclinadas al Noreste y al Suroeste, entre las que sobresalen protuberancias que fueron otros diferentes focos eruptivos, pero que fisiográficamente forman parte integrante de esta unidad que culmina en la "Mujer Blanca."

La cabeza es un picacho arredondado con pendientes muy fuertes hacia el Noroeste, cubierto por las nieves con excepción de las partes escarpadas, en las que no se puede detener la nieve. De la cabeza se desprende un ramal que lo une al pecho, haciendo ligera hondonada y encorvado hacia el Poniente, todo cubierto de nieve, hacia el Sur-Poniente, descendiendo rápidamente se desprende una cresta de peñascos desgarrados en forma encorvada hacia el Sur.

El pecho tiene una forma como cúpula, teniendo en la cima una "llanada," como dicen los guías, o una mesa amplia cubierta de nieve totalmente; en su parte Norte se desprende un ramal que lo une con la cabeza, hacia el NW. se desprende un espolón o contrafuerte que separa las dos barrancas principales del flanco occidental de la montaña y en las que existen los ventisqueros: Ayoloco entre la panza y los pies, y el de Ayolotepito entre la panza y la cabeza; en la parte Sur de la mesa existe otro picacho que Farrington da en llamar pico Heilprin; este picacho hacia el NW.W., está cortado a pico, por lo que la nieve no puede cubrirlo y marca perfectamente el principio de la cuenca de alimentación del ventisquero de Ayoloco, la "rimaye" o sea la grieta primera o inicial del ventisquero.

La panza o el pecho es la parte más alta del Iztaccíhuatl, que alcanza una altura de 5,280 metros sobre el nivel del mar (1).

Los pies son una serie de picachos abruptos de formas irregulares y desgarradas.

(1) Aceptamos esta altura porque ya son dos que se aproximan mucho; la de los señores Böse y Ordóñez, y la de la Comisión Geográfica-Exploradora. Urbina, Laríos y yo hicimos una ascensión, pero nuestros barómetros no funcionaron a esa altura.

El caballete alargado formado por estos tres puntos de formas diferentes tiene una orientación NNW. a SSE.; de los pies, el filo o la cumbrera que coincide con la parte-aguas continental sigue al Sur con un descenso rápido pero no escarpado como el del lado opuesto o sea el de la cabeza al Norte; este filo al Sur o cumbrera de las aguas, desciende hasta el puerto de "Pelagallinas," para de allí levantarse y culminar en el Popocatepetl.

De la cabeza para el Norte el terreno desciende brusca y rápidamente; el filo de la serranía que sigue siendo la cumbrera o parte-aguas continental, toma una dirección NW., pasa por una protuberancia llamada cerro de Huytepeme, sigue descendiendo hasta un lado de Llano Grande a 3,600 metros, vuelve a ascender en el cerro del Tlatlachelo a Mirador, pasa por el cerro de la Caballeriza y sigue culminando con las elevaciones del Norte de la serranía.

La parte elevada del Iztaccíhuatl o sean las tres elevaciones de la cabeza, pecho, pies y las faldas que le siguen, hasta un nivel de 4,500 metros, están cubiertas por las nieves persistentes, alcanzando éstas una extensión aproximada de 7 kilómetros, en el sentido longitudinal de la sierra y tomando como se ha dicho el carácter de un caballete alargado, al que siguen unas pendientes pelonas a distancia, pero cubiertas de musgo y pasto hasta los 4,000 metros, en donde empieza la vegetación arborescente, y en donde la pendiente del terreno disminuye formando unos escalones o peldaños que se terminan al Poniente con saltos escarpados; escalones en donde se encuentran unos llanos pequeños y entre los que existen algunas ciénegas. Estos llanos tienen en lo general, una forma alargada algo triangular, limitados al Poniente por un acantilado que forma un abismo, y a los otros dos lados, por paredes acantiladas que concurren a un vértice que es el sitio de entrada de un arroyo que llega en forma de catarata, encuentra el cambio brusco de pendiente más suave que forma el llano, lo surca y se despeña por otra catarata para llegar a la barranca principal; así es el llano de Nahualaque y otros.

Después viene una zona de verdaderas faldas inclinadas que avanzan hasta llegar a algunos obstáculos como el cerro del Venacho y el cerro Cortés, el cerro de Buenavista o Sierrita de Zavaleta o Pulpito del Diablo, que fueron otros diferentes focos eruptivos, y sólo hacia el Noroeste, como en Miraflores, esas faldas llegan hasta los sedimentos lacustres del valle de México.

El cerro de Buenavista sobresale un poco de esas faldas pendientes, por cuyo motivo sólo subiendo a alturas que lo dominan, se nota la existencia de ese obstáculo a las corrientes inclinadas de lavas. Este cerro se termina al Poniente, por pendientes muy escarpadas, como el cerro del Pulpito de donde se extrae una cantera de bastante buena calidad; en el flanco Poniente escarpado de estas últimas estribaciones se muere ese cerro entre los pequeños llanos de Zavaleta y de Amecameca, que es donde termina la montaña visible del Iztaccíhuatl; más al Poniente están los cerros de Tlalmanalco, los de Chicontla y otros muchos que constituyen montañas distintas.

Más al Poniente sigue la planicie del valle de México, con sus accidentes formados por conos y serranías de poca extensión, medio sepultados entre los sedimentos lacustres. Algunas corrientes de lavas en el Iztaccíhuatl, se interrumpen formando acantilados sinuosos, que vistos de muchos puntos aparecen como las cimas de cerros distintos con pendientes para todos lados, pero esto sólo es cuestión de perspectiva, pues estando sobre los lugares mismos se vé que son las cumbres o los filos de corrientes inclinadas más y más altas hacia el centro de la montaña y que al Poniente se terminan por acantilados más abruptos que el resto de la corriente. Así son Dos Cerros, Tatlachelo, Cuahushuagüe y otros.

Por entre estas faldas y estas pendientes, irradiando desde el filo del Iztaccíhuatl, se forman barrancas profundas de paredes acantiladas, algunas de más de 300 metros, entre las que se encuentran las barrancas del Santo, Santiago o Barranca Honda, Cabeza de Negro, Mex-titla, Toncocosco y otras muchas que trataremos en los capítulos siguientes en los que tendremos que entrar en detalles

de fisonomía y caracteres de algunas de ellas.

### *Hidrografía*

El filo o cumbre del Iztaccíhuatl concuerda con la parte-aguas continental, o sea la línea que divide las aguas tributarias del Océano Atlántico de las del Océano Pacífico; el flanco oriental es tributario de los ríos Atoyac y Atlixco, que forman el Balsas, el cual desemboca en el Océano Pacífico; y el flanco occidental, pertenece al antiguo lago de Chalco, que forma parte de la cuenca del Valle de México, la que fué cerrada y que en virtud de las obras del "Desagüe" del Valle de México, es tributaria del río Tula, que después se llama río Moctezuma y por último río Pánuco, que desagua en el Golfo de México, por Tampico.

Varios son los arroyos que nacen en el lado Poniente del Iztaccíhuatl; entre los principales debemos mencionar el arroyo del Salto que nace de los deshielos del ventisquero de Ayoloco, sigue por el Salto entre acantilados muy altos pasando a las orillas de la población de Amecameca, por el Norte; las aguas de la parte alta de este arroyo, son desviadas artificialmente para generar fuerza en la fábrica de Tomacoco y de allí siguen por el arroyo que pasa también en las orillas de la población de Amecameca, por el Sur, con muy diferentes nombres; río de Tomacoco, río Grande, río Mexicano o río de Hueyatla. El arroyo de Santiago o de Chalma o de Barranca Honda, nace al Poniente del Llano de Nahualaque y pasa por los pueblos de Santiago, de Chalma y San Antonio; los tres arroyos: de Chalma, el del Salto y el de Tomacoco, son de curso constante; el Chalma es el de menos caudal de agua, el del Salto es de un poco más agua y el tercero es el más abundante; los tres se reúnen al Poniente de Amecameca, por Ayapango, para formar el río de Amecameca, que sigue hacia el Poniente y después al Norte, para desaguar en el antiguo lago de Chalco.

El arroyo de Tlalmanalco nace de los deshielos del ventisquero Ayolotepito, entre el Pecho y la Cabeza, a 4,500 metros, sobre el nivel del mar, sigue su curso hacia el Noroeste, pasa por Nahualaque,

Trancas, Cabeza de Negro, San Rafael, Tlalmanalco, Miraflores, el Moral y vierte sus aguas en el antiguo lago de Chalco. Desde Trancas hasta Zavaleta genera fuerza en diferentes caídas para la fábrica de papel de San Rafael; en Tlalmanalco, en Miraflores y en el Moral es aprovechada por otras caídas, y después se utiliza en la hacienda de la Compañía, en el riego de sus terrenos.

Los arroyos mencionados son los principales, pero a ellos se les reúnen otros muchos de curso temporal. Los cauces de todos son verdaderas cascadas, pues en una extensión de 2 kilómetros se tienen desniveles de 400 metros, como en Cabeza de Negro y hasta 600 metros, en el Salto; la cumbre de la montaña está a 5,280 metros, Amecameca y Zavaleta están a 2,500 y 2,400 metros, o sea un desnivel de 2,880 metros, en una distancia horizontal de unos 10 kilómetros, casi el 30%, lo que pone de manifiesto lo escarpado del terreno en general.

### *Geología*

Las rocas que forman la montaña son: andesitas de hornblenda, andesitas de hiperstena, basaltos andesíticos o transicionales, conglomerados, brechas y arenas.

Hemos dicho que la montaña es un aparato volcánico ya derruido, que en general afecta la forma de un caballete con una cumbre como de 7 kilómetros cubierta por las nieves persistentes y desde donde descienden las faldas inclinadas; en unos puntos cortadas y suspendidas afectando la forma de cerros aislados; en otros interrumpidas por eminencias quizá preexistentes; en otros la uniformidad desaparece por corrientes locales posteriores más básicas y más fluidas y en otros se continúan hasta morir entre los sedimentos lacustres del valle de México. En términos más claros diremos que las rocas se presentan en forma de corrientes inclinadas que culminan en los picachos que forman la Mujer Blanca, como si hubieran salido de una grieta Norte-Sur. Ese es el conjunto, pero será mejor que enumeremos los puntos en los que hemos tenido oportunidad de conocer la geología de esta región para lo que nos

serven muy eficazmente las obras hechas por cuenta de la fábrica de papel de San Rafael.

Entre los lechos de separación de las corrientes de lavas existen brechas y conglomerados cementados por material lávico como se ve en Tranca Chica, el canal del Túnel, la cueva de Corbello y otros muchos puntos donde hay cuevas con especies de estalactitas de tezontles, que no son más que huecos dejados por el material pastoso ya enfriado de una corriente de lava que ha arrastrado en su camino guijarros y tierra que le quitan fluidez, impidiendo que se llenen todas las asperezas y sinuosidades del terreno anterior.

La barranca de la "Planta de la Cuesta" difiere un poco en su constitución de la anterior, su dirección es casi paralela a la "Cabeza de Negro," las tobas son de grano más fino y parece que ocupan un espesor mayor, en varias partes aparecen de un color rosado y sólo un pequeño trecho tiene el color amarillo y el grano de los tepetates de construcción.

En la barranca de Tecalco o de Teconalá o de Tcnecoxco, tenemos primero una corriente de lava cubierta casi por tobas y tierra vegetal. Estas tobas adquieren gran espesor estando cubiertas por una corriente de lavas que afloran en la "toma" de Teconalá, en el cerro de la Vaquería y en Dos Cerros, después unas tobas y por último unas dos o tres corrientes de lavas porosas como en el cerro de la Vaquería, el de Tlatlachelo y Dos Cerros. Estas corrientes están cortadas bruscamente hacia el Poniente, por lo que parecen eminencias aisladas. Las tobas inferiores son muy gruesas y de un grano algo fino. Todas las rocas de esta región tienen en lo general un color más claro que las de la barranca de Cabeza de Negro, debido en gran parte a que han sufrido el metamorfismo de aguas mineralizantes silicificadas que emanaron de por Llano Grande.

Llano Grande es una depresión de 500 a 700 metros de diámetro que se encuentra al Noroeste de la "Cabeza" a 3,600 metros sobre el nivel del mar, limitado por el cerro de Hueytepeme, al Oriente, al Norte y Noroeste del cerro del Tlatla-

chelo o de Llano Grande, al Poniente y Sur, ligeras ondulaciones del terreno, como de 50 metros sobre Llano Grande; hacia el Sureste, entre Llano Grande y la Cabeza, se levantan unas agujas como de 50 metros de alto llamadas "Texcal" y "Texcal-cuate," que afectan la forma de "pilonos de azúcar;" estas agujas colocadas arriba de los 4,000 metros tienen por fondo las faldas pendientes de la base de la cabeza, por lo que se pierde su gran belleza y esbeltez. La depresión de Llano Grande está rellena por un material pulverulento flojo, circuido de vegetación pero en la depresión misma sólo pasto nace y en donde como un fenómeno raro ni en la época de las lluvias se forman pantanos tan frecuentes en todo tiempo en los otros llanos de la falda del Iztaccíhuatl.

En muchos otros puntos trataremos cuestiones de la geología de la montaña, pero que tienen relación estrecha con los capítulos en que están incluídas; sólo hemos querido establecer de una manera general cuáles rocas existen y cómo se encuentran distribuídas.

#### *Hidrología*

En esta parte debemos considerar los siguientes elementos:

- 1.º El agua que se infiltra.
- 2.º El medio a través del que circula el agua o se contiene el receptáculo acuífero, y
- 3.º Forma, posición y demás condiciones de ese receptáculo en que está contenida el agua.

#### *Agua*

Deberíamos concretarnos a estudiar el vapor de agua ya condensado en sus diferentes formas, como lluvias, granizo, escarcha o rocío, consignando en cuáles de estas formas cae, qué cantidad de cada una cae y después seguirla en los caminos que recorre, de preferencia al subterráneo; pero desgraciadamente no tenemos ningunos cuadros ni ningunos datos que nos digan a cuánto asciende el agua, nieve o granizo, arriba, en el medio o en la parte baja de la montaña, por lo que estamos obligados a entrar en consideraciones que nos den idea de lo

que puede caer de agua, en qué formas cae de preferencia según la altura y que le pasa a esa agua líquida o sólida en relación con otras partes de donde se tienen datos y que puedan ser comparables.

Pasamos por alto los orígenes de las nubes y las teorías de su formación; si las gotas tienen por nucleos polvos microscópicos, si son huecas o son llenas y sólo nos ocuparemos de lo más importante que se relaciona con nuestro objeto.

Es de todos bien conocido, que cuando una masa de aire cargado de vapor de agua se enfría, se forma la lluvia. Que en los macizos montañosos llueve más que en las llanuras; pero además de estos principios muy generales, hay otros más especificados con respecto al funcionamiento del Iztaccíhuatl, como condensador del vapor de agua del aire, puesto que es una de las varias unidades importantes de una cordillera de poca extensión ciertamente, pero de gran relieve, que se levanta sobre una altiplanicie muy elevada como lo son las llanuras o valles en los que culmina la meseta de Anáhuac. La llanura tiene unos 2,250 metros, sobre el nivel del mar, la montaña empieza a destacarse claramente desde los 2,300 metros; sus primeros 1,700 metros están cubiertos de recia vegetación; los 500 siguientes, estériles, donde sólo pasto y musgo crece, y a veces cubiertos por las nieves, y el resto de 780 metros, cubiertos por nieves persistentes. Esto es, tenemos un relieve de 3,000 metros, sobre las altas llanuras que lo circundan, como el valle de México y de 5,280 metros sobre el nivel del mar, con zonas en que la climatología reinante es diferente; gran relieve alargado y orientado, casi de Norte a Sur, interpuesto entre dos océanos, el flanco oriental recibe los vientos del Golfo de México, distando 220 kilómetros, después de haber chocado contra la Sierra Madre Oriental, que le es paralela, aunque menos elevada, y de haber seguido sobre una parte de la altiplanicie que forma el valle de Puebla; el flanco occidental recibe los vientos del Suroeste que vienen del Océano Pacífico, distante unos 280 kilómetros, y después de haber traspasado valles reducidos y



las varias cordilleras que constituyen la Sierra Madre del Sur, una porción de la Sierra Madre Occidental, pero cuyas elevaciones, por excepción, alcanzan los 3,000 metros sobre el nivel del mar.

Es decir, contamos con un gran relieve orográfico orientado de Norte a Sur y casi a igual distancia de los dos océanos, que desempeña el oficio de condensador del vapor de agua, del aire, en donde esa condensación se resuelve en lluvias propiamente como lloviznas, aguaceros y chubascos; nieve, granizo, rocío, escarcha, sereno, etc. Dos autores, Angot (1) y Mager (2), tratan con amplitud los principios que se refieren a nuestro caso, pero nosotros entresacaremos los que nos son esenciales.

La condensación del vapor de agua contenida en la atmósfera, toma el estado líquido a consecuencia de un enfriamiento suficiente; este enfriamiento puede producirse de tres maneras diferentes:

1.º Directamente, sea por radiación, sea por el paso del aire de una región caliente a una región más fría.

2.º Por expansión.

3.º Por mezcla con una masa de aire más fría.

El relieve del terreno determina frecuentemente las precipitaciones y motiva irregularidades en la distribución. Cuando una masa de aire húmeda llevada por el viento viene a chocar con un macizo montañoso, está obligada a elevarse a lo largo de los flancos; sube, se produce una expansión, seguida de enfriamiento, de condensación y de precipitación. Las lluvias debidas al relieve son abundantes sobre los flancos de las montañas expuestas a los vientos. *Las regiones montañosas son por consecuencia las regiones de lluvias; la altura de la lluvia anual crece en general con la altitud hasta cierto límite.*

Mapas de la distribución de las lluvias en el globo muestran la importancia del relieve sobre la cantidad de precipita-

ciones, viniendo a ser algunas de las cadenas de montañas centros de precipitación, especialmente si están expuestas a los vientos de los mares.

Para la caída de la nieve es suficiente que el vapor de agua se condense a una temperatura inferior a 0°, produciéndose copos de diferentes formas y tamaños, y el hielo se forma si la condensación es muy rápida, produciendo masas amorfas que constituyen el granizo.

El sereno es la condensación que se deposita poco después de ocultarse el sol; en este momento, cuando el tiempo está en calma y el cielo sin nubes, la tierra se enfría por radiación, al mismo tiempo que todos los cuerpos colocados en su superficie; el suelo y estos cuerpos vienen a ser más fríos que el aire, que conserva mejor su calor. Cuando hay vientos, el sereno no se produce, porque el aire en movimiento lleva los cuerpos a su propia temperatura a medida que ellos se enfrían por la radiación; y, cuando el cielo está cubierto, las nubes forman pantallas y se oponen a la radiación, es decir, al enfriamiento; así es que, para un tiempo en calma y un cielo sin nubes, el aire cargado de vapor viene en contacto con la tierra, y los cuerpos más fríos que él, deposita sobre la superficie del suelo y de estos cuerpos una gran parte del agua que contiene; y *mientras más radiación hay, la condensación es más abundante.* Puede suceder, pero el fenómeno es raro, que la condensación en la tarde se produzca en el seno mismo del aire; sobreviene entonces por un tiempo muy claro un enfriamiento extremadamente rápido; se ven entonces gotitas de lluvia caer del cielo purísimo.

El rocío es la condensación en la mañana, se deposita sobre los cuerpos que se han enfriado más por efecto de la radiación, principalmente sobre la yerba y la arena, no se deposita bajo los árboles ni bajo los cobertizos, pues todo abrigo disminuye e impide el enfriamiento del suelo por radiación.

El agua de rocío es suficientemente abundante para las necesidades de la vegetación en ciertos países donde no llueve.

La helada blanca es el rocío congelado a consecuencia de una radiación nocturna muy intensa, y se forma de noche

(1) Angot. *Traité élémentaire de Météorologie*, 1899, París.

(2) Henri Mager. *Les moyens de découvrir les eaux souterraines et de les utiliser*, 1912, París.

desde que la temperatura descende de cero grados.

La escarcha (givre, en francés) que se adhiere a las ramas de los árboles, hilos de telégrafo, etc., debe su origen a las condensaciones de superficie que se congelan a cualquiera hora.

Para terminar, y como una prueba de la importancia de los elementos fríos en contacto con una atmósfera cargada de vapor, copiamos una experiencia de que habla Mager.

Cuando en una probeta de vidrio como de 20 centímetros de altura y 20 de diámetro se ha vertido hasta la mitad alcohol de 90° y se cubre la probeta con una cápsula de porcelana y se calienta todo al baño de maría, con precaución, puesto que el alcohol es eminentemente inflamable, sin alcanzar el punto de ebullición del alcohol (78°), si se retira la probeta del baño de maría y se le deposita sobre una mesa, la cápsula que la cubre se enfriará poco a poco; los vapores del alcohol que se encuentran allí almacenados se condensan, y al cabo de algunos minutos se ve producirse en la probeta una lluvia fina formada de gotitas que vistas al microscopio tienen 0.00004, a 0.00005 m. de diámetro; esta lluvia persiste durante una media hora. Al principio los vapores se elevan hasta la cápsula de porcelana, las nubes se forman; después, a medida que el vaso se enfría, estos vapores se bajan más y más; en fin, viene la lluvia. Si en lugar de dejar sobre la probeta la cápsula caliente, se le reemplaza al comienzo de la experiencia por una cápsula fría, el espectáculo cambia: se observa un torbellino rápido de vapores, la imagen de una *tempestad* en miniatura, acompañada de *ciclones* debidos al enfriamiento desigual de las paredes.

Esta experiencia resume y condensa los principios fundamentales que rigen a nuestros recursos de agua de los que nos vamos a ocupar y que repetimos, son: lluvias (aguaceros, chubascos y lloviznas), nieve, granizo, rocío, escarcha, sereno, etc., hemos tenido oportunidad de observar cómo se verifican estos fenómenos desde el mes de junio de 1913, hasta el mes de abril de 1914, comprobando

siempre los principios anotados aquí anteriormente como lo vamos a ver.

Si en la ciudad de México caía un aguacero, generalmente en la tarde, por Nexcoalanco, a 3,400 metros, caían tres y a veces cinco desde las diez de la mañana hasta las diez de la noche. Si en la ciudad llovía en tres días de la semana, por Nexcoalanco llovían cinco días y a veces los siete días de esa semana.

La estación de las lluvias, por lo menos en el tiempo que hemos visto, también es más larga en la montaña que en la ciudad de México; en la montaña los aguaceros y las tormentas se inician y empiezan antes que en la ciudad, y al alejarse las lluvias sucede lo contrario: cuando en la ciudad ya se orea la tierra y brilla esplendoroso el sol, por la montaña en los días está el cielo encapotado y cubierto de nubes y por las tardes caen buenos aguaceros.

La forma de las precipitaciones es distinta según la altura: en el valle, las precipitaciones son, en lo general aguaceros y lloviznas; por excepción granizos, nevadas y heladas blancas. En Nexcoalanco, a 3,400 metros, los aguaceros y las granizadas quizá sean en igual número, las nevadas son frecuentes y las heladas blancas, el rocío, el sereno y las escarchas son importantes en la mayor parte del año.

De los 3,600 metros para arriba, son más frecuentes las granizadas y nevadas que los mismos aguaceros y todavía aun más frecuentes las heladas blancas, las escarchas, el rocío y el sereno.

En Nexcoalanco, a 3,400 metros, por septiembre y octubre, pudimos ver varias precipitaciones, en la siguiente forma: empieza el aguacero de gotas líquidas y uno que otro granizo, éstos van en aumento hasta ser muy grande la cantidad de granizos pequeños, esféricos y muy pocas gotas de agua; pero el chubasco arrecia, caen gotas grandes y menos granizos, vuelven éstos a aumentar en cantidad y en tamaño hasta ser de 5 a 8 milímetros de diámetro, todo en cantidad abundante para constituir un chubasco que ha durado unos 25 minutos; en ese día cayeron por esos lugares cinco chubascos parecidos; siempre con sus alterancias de agua y granizos; pero domi-

nando los granizos como consecuencia directa de la altura y haciendo patente la influencia de la temperatura.

A 3,700 metros vi otro aguacero de granizo en donde casi no cayeron gotas líquidas sino granizos pequeños y esféricos, como si las gotas de lluvia se hubieran solidificado casi en su totalidad al grado de que en el primer paso de la nieve, es decir, los primeros 10 minutos, el impermeable no se mojó, sino que los granos de agua habían resbalado sin licuarse.

Las condensaciones de superficie como son: el sereno, el rocío, las heladas blancas y las diferentes escarchas, tienen una importancia creciente con la altura, mientras más se asciende, su intensidad aumenta, a la vez que es más grande el número de días del año en que se producen. A 2,600 metros sobre el nivel del mar, un poco arriba de San Rafael, por espacio de los cuatro meses de diciembre a marzo y en los lugares que están en buenas condiciones, sin árboles y sin arbustos, casi no ha dejado un solo día de haber heladas blancas, y las pocas veces que éstas no se produjeron, el rocío no ha faltado. A una altura mayor, como a 3,000 metros, estas heladas blancas se han producido por un tiempo mayor de dos meses. A 3,600 metros hay pocas mañanas, relativamente, sin que se tenga una helada blanca, la mayor parte del año, o rocío muy abundante. Como se sabe bien, la helada blanca es el resultado de la condensación del vapor de agua del aire cuando la temperatura ha descendido abajo de cero grados; pero si la cantidad de vapor de agua del aire, es insuficiente para saturar el aire aun a esas bajas temperaturas, entonces se produce lo que nuestros agricultores llaman heladas prietas, muy frecuentes por cierto, en los Estados del Norte. En el Iztaccíhuatl las heladas prietas las hay, pero son muy poco frecuentes, abundando las condensaciones ya sean heladas blancas, rocíos o serenos, la mayor parte del año; es decir, sólo relativamente pocos días del año, la humedad del aire es insuficiente para saturarlo a las bajas temperaturas reinantes y efectuar una condensación de superficie dominando las

heladas blancas a medida que se asciende en la montaña.

En los manchones de tierra suelta, pulverulenta, húmeda y casi exclusivamente en las faldas o pendientes que ven al Norte, en el invierno, se cubren de unas tejas de hielo transparentes, macizas, de aspecto fibroso, verticales y paralelas, como de dos centímetros de ancho, unos milímetros más de largo y como de 3 a 5 milímetros de espesor, si sopla brisa y hay humedad abundante sus dimensiones son mayores; esta escarcha es semejante a la que se verifica en las ramas de los árboles, en los hilos de teléfono, etcétera; pero su tamaño, su posición vertical, su paralelismo, sus dimensiones y el formarse exclusivamente en la tierra suelta, hacen que no se le clasifique como las otras escarchas de superficie que se producen bastantes veces en la montaña.

En resumen, la cantidad de agua que cae en las diferentes zonas del Iztaccíhuatl, ya sea al Estado líquido o sólido en las diferentes estaciones del año, es más abundante que la que cae en la llanura como en la ciudad de México, por ejemplo. Si en la ciudad caen 60 centímetros, término medio, creo que en el Iztaccíhuatl caerán 100 centímetros, como cantidad media general, reduciendo la nieve a agua en la proporción que le corresponde.

Ahora bien, la forma en que cae el agua, líquida o sólida, nos interesa, porque según sea esta forma así permanece más o menos tiempo sobre el terreno y la infiltración es diferente, es decir, la proporción que se convierte en subterránea, es mayor, mientras más tiempo dura sobre el terreno.

El granizo, la nieve o cualquiera de las formas del agua al estado sólido, tarda más tiempo en licuarse a medida que se asciende en la montaña, y para una misma altura, se tarda más en el invierno que en las otras estaciones del año; y para una misma altura pero en los dos flancos o laderas de las barrancas, esta diferencia es relativamente muy grande y la causa es la siguiente: en el invierno cuando el sol cobija el hemisferio austral con sus rayos más cercanos, nosotros, que aunque entre la zona tórrida

pertenece al hemisferio Norte, puesto que la región que nos ocupa está alrededor de los 19° latitud Norte, recibimos los rayos con una inclinación muy apreciable hacia el Norte. La orientación misma de la montaña, los accidentes principales del terreno como las barrancas y los filos que bajan de la parte alta hacia las llanuras, tienen una dirección general de Oriente a Poniente, y, por consiguiente, las laderas de las barrancas y los flancos de los filos están expuestos o ven: unos al Norte y los otros al Sur. Los que ven al Norte reciben los rayos del sol muy oblicuamente, casi tangencialmente y muchas veces, cuando la inclinación de esas laderas es superior a la inclinación del sol sobre nuestro paralelo, quedan substraídas de los rayos del sol; las que ven al Sur, muy por el contrario, reciben los rayos del sol perpendicularmente o casi perpendicularmente, por lo menos una parte del día. En otros términos, en el invierno, las laderas que ven al Sur reciben calor en cantidad muchísimo mayor que las que ven al Norte, las que reciben poco o ningún calor enviado directamente del sol. En estas condiciones de exposición a los rayos del sol, el suelo, como es bien sabido, absorbe mucho del calor que recibe al contrario del aire, a condición de que no sople viento que le quite ese calor, llegándose a comprobar diferencias, a veces notables, entre la temperatura del aire y la de la superficie del suelo; y en virtud de ese calor absorbido o susceptible de almacenarse, la nieve y el hielo que se encuentra sobre las laderas que ven al Sur, se licúa y la manera de hacerlo es la siguiente: se tiene una superficie rugosa o desigual, la costra de nieve o hielo, en los lugares en que es más delgada, se disuelve a consecuencia del calor del sol, cuyos rayos son directos y casi perpendiculares, empiezan a sobresalir las partes puntiagudas de las piedras, éstas empiezan a absorber calor y a calentarse más que el aire, la nieve se sigue licuando alrededor de esas piedras hasta dejarlas aisladas y el resto de nieve hasta las partes más gruesas, es atacada por todos lados: en la superficie por los rayos del sol, en los lados, por el calor de las piedras que han almace-

nado, y en el fondo, por la conductibilidad del suelo y por el agua que se ha calentado en contacto con las piedras ya expuestas.

Por estas circunstancias en los meses de octubre a marzo, a una altura de 3,000 metros, sobre el nivel del mar, una granizada en las laderas que ven al Norte, dura hasta ocho días en licuarse, y en cambio, en las que ven al Sur, no dura ni un día con sol. A los 3,500 metros, las nevadas y granizadas duran hasta quince días en las partes que ven al Norte y en las otras uno o dos días con sol.

En las otras montañas del valle, las que por su altura se coronan de nieves invernales, aunque mejor que invernales, deberíamos llamar eventuales, estas nieves bajan a alturas muy desiguales en las faldas, según que estas faldas vean al Norte o al Sur, debido a su diferente exposición a los rayos del sol y en parte también a la temperatura reinante del aire en los dos flancos de las montañas. Por ejemplo: el Ajusco, el Mezontepec, el cerro Pelado, el Guarda y otros que pertenecen a la sierra del Ajusco, tienen una orientación aproximada de Poniente a Oriente, casi transversal al Iztaccíhuatl, desde donde viendo estas elevaciones por los 3,000 metros de altura en los meses de diciembre a marzo, se ven las cimas de estas montañas cubiertas de nieves en períodos que duran de dos a diez días, pero de una manera muy desigual; hacia el Norte las nieves cobijan unos 200 a 500 metros, abajo de las cumbres de las montañas, según la intensidad de la nevada y hacia el Sur, muy poco abajo de las cumbres, casi nada, pues hacia el Sur no se distingue ni un copo de nieve mientras que la falda que ve al Norte se encuentra blanca enteramente.

En el Iztaccíhuatl, a medida que se asciende, es más larga la duración de las nieves, pero siempre teniendo influencia la exposición del suelo con respecto a los rayos del sol; en los meses de diciembre a marzo la nieve cubre casi por completo hasta los 4,000 metros, hasta acercarse a los 4,500 metros, a medida que el verano avanza, límite a que las nieves permanecen sin licuarse todo el año, en esta parte de nuestro planeta.

Desde los 3,600 metros existen lugares que ven al Norte cubiertos por "cornizas,"<sup>5</sup> acantilados en condiciones especiales para que la nieve dure un tiempo más largo que en el resto de aquellos lugares y que la humedad del aire se condensa de preferencia allí para acumular una cantidad apreciable, permitiendo a los neberos sacar de allí la nieve que necesitan para vender al comercio y evitarse así subir hasta el pie de los ventisqueros. A esos lugares especiales en donde la nieve se acumula se les llama "criaderos," para distinguirlos de los "cortes," situados al pie de los ventisqueros; pues aunque más abajo de los ventisqueros exista nieve, no siempre está en un espesor suficiente para que puedan recogerla pura y compacta para transportarla a la ciudad de Amecameca, sitio de su comercio.

En lo anterior nos hemos referido a las nieves anuales, las que en el invierno descienden hasta niveles variables y que mientras más bajas, más corto tiempo se conservan sin licuarse, y cuya abundancia varía notablemente según la humedad y el rigor del invierno. Nos faltan las nieves perpetuas, eternas o más propiamente persistentes, éstas empiezan en el flanco occidental del Iztaccíhuatl, desde los 4,500 metros, sobre el nivel del mar; esta línea quizá tenga, como en otras partes, variaciones que dependen de la abundancia de las nieves, por períodos más o menos grandes, tal como pasa en los Alpes, en que se han notado oscilaciones por períodos de 35 años, pero nosotros no conocemos nada de lo que se refiere a estas variaciones hasta que exista una sociedad de alpinistas o alguna institución o personas que organicen estos estudios.

Hablando del nivel de esta línea los señores Böse y Ordóñez (1) dicen: que en el flanco oriental, esa línea es más alta, aunque es de creer que simplemente lo suponen, pues no refieren qué vez han subido por ese lado, además de que sus fundamentos no satisfacen, pues dicen que la línea de las nieves es más alta del lado oriental que del occidental por-

que al flanco oriental llegan los aires más calientes. Esto sencillamente es dudoso, porque es cierto que los vientos vienen del Oriente o sea de la caldera del Golfo, pero han necesitado traspasar la Sierra Madre Oriental con elevaciones frecuentes de 3,000 metros, y después la llanura que forma parte del valle de Puebla, a alturas de 2,000 a 2,500 metros sobre el nivel del mar, y por lo tanto han debido enfriarse bastante; del lado occidental se reciben los vientos Suroeste, o sea del Océano Pacífico, que también son calientes, quizá menos que los del Golfo, pero éstos no han necesitado traspasar ninguna sierra que se levante como la Sierra Madre Oriental, ni ninguna altiplanicie tan elevada como la de Puebla, sino únicamente los llanitos de Amecameca, que tendrán unos 3 kilómetros de extensión y que más bien deben considerarse como una de las partes planas del pedestal del gran macizo montañoso del Iztaccíhuatl. Para mayor abundamiento, Lapparent afirma, que el nivel de las nieves *persistentes* está influenciado por la *humedad del aire* y no por la temperatura reinante, y dice (1):

"Es así como sobre el flanco meridional del Himalaya, no obstante su exposición al mediodía, el límite de las nieves está según Schlagintweit, a 4,900 metros, mientras que sobre la vertiente Norte se eleva a 5,700 metros."

"En los Alpes valaisianos en el centro del macizo suizo se encuentran las nieves perpetuas hacia 2,700 a 2,800 metros, mientras que están a 3,300 metros en los Alpes Marítimos y del Cottienes. En Noruega se les ve sobre la costa occidental vuelta hacia el mar entre 884 y 1,306 metros, según la altitud, mientras que, sobre la vertiente oriental es necesario buscarlas respectivamente de 1,021 metros a 1,680. En el Cáucaso se tienen a 3,570 metros sobre el flanco Oeste, que hace frente al Mar Negro, y a 4,300 metros sobre el flanco vuelto hacia las llanuras áridas del Asia; en fin, en Nueva Zelanda se bajan mucho más sobre la costa occidental que recibe 2.80 metros de

(1) E. Böse y E. Ordóñez. Separatabdruck aus der Zeitschrift des Deutschen und Osterreichischen Alpenvereins, página 143.

(1) A. de Lapparent. *Traité de Géologie*, 1906, página 263.

lluvia por año, que sobre la costa oriental, donde no se recogen más de 0.80 metros de lluvia."

Realmente nada comparable, de uno y otro flanco, se sabe porque repetimos, ningún estudio formal se ha emprendido, los excursionistas, muy pocos en verdad, se contentan con contemplar los paisajes y procurar alcanzar la cima, lo que ciertamente constituye por sí solo un triunfo, y volverse a la mayor brevedad para reparar las fuerzas gastadas, pues hay que tener en cuenta que aquí para llegar a las nieves persistentes, se necesita uno elevar a los 4,500 metros sobre el nivel del mar, en donde muchos sienten mareos e incontables fatigas. En Europa, con relativamente muchas comodidades, bastan 2,700 metros, sólo unos 500 más arriba que la ciudad de México. A la altura de nuestras nieves, poquísimos se acuerdan de tomar temperaturas del aire y de la nieve, grados de humedad, dirección del viento, cantidad de nubes, de luz, altura de las nieves, en fin, otros muchos datos que se deberían tomar.

En suma, se carece de datos sobre la diferencia del nivel de las nieves persistentes de uno y otro lado del Iztaccíhuatl, y si esas nieves tienen oscilaciones o no; nosotros en el mes de abril, por Ayolotepito, anotamos 4,500 metros como el nivel de esas nieves en dos años diferentes.

La parte cubierta de nieve en esta montaña alcanza una extensión como de 6 kilómetros de largo y de altura, la sinuosa de la montaña que en el punto más alto llega a 780 metros. Esta extensión de nieves, relativamente grande tratándose de la zona tórrida, y que no la hay en ninguna de nuestras otras montañas aun cuando estén más altas que el Iztaccíhuatl, da origen a diferentes fenómenos que ciertamente son de poca importancia en sus efectos actuales para toda la comarca, pero que siempre son muy dignos de mencionarse por tratarse de la parte circunscrita del Iztaccíhuatl, pues esa masa de 6 kilómetros de nieve desempeña el papel de condensador eficaz de la humedad del aire, de regulador de la temperatura y cuyos deshielos son una fuente normal y constante de aguas superficiales y subterráneas; esto es, des-

empeña papel actual muy eficaz en la climatología de la montaña. El papel geológico de esa masa de nieve, si en la actualidad es muy pequeño, no fué así en épocas geológicas anteriores, puesto que la cantidad de nieve fué mucho mayor en extensión y en espesor, existiendo verdaderos ventisqueros o ríos de hielo cuyo poder erosivo fué formidable, contribuyendo a la desintegración de las rocas y a fabricar parte de los caminos que sigue el agua que se convierte en subterránea. En el capítulo que trata de la fisonomía de la montaña, hablaremos algo de los ventisqueros puesto que éstos originan algunas barrancas existentes, modificadas después por los fenómenos actuales.

Resumiendo lo anterior vemos que el Iztaccíhuatl es un accidente de muy grande relieve que sirve de condensador de la humedad del aire, por lo que en sus faldas la caída anual de agua es mucho mayor que en la planicie, y que esta caída es más bien en la forma sólida, como granizo, por cuya causa el agua no escurre inmediatamente que cae, sino que permanece mucho tiempo sobre el terreno, puesto que la nieve o el granizo se van licuando con lentitud, impregnando todo el suelo y motivando que una mayor proporción del agua esté en aptitud de convertirse en subterránea si el terreno es permeable, que es lo que vamos a ver.

*Receptáculo subterráneo.* Las rocas, en general, se dividen en permeables e impermeables, es decir, que se dejan penetrar por el agua las primeras y que no se dejan penetrar por ellas las segundas, tomándose, esta propiedad en un sentido relativo, puesto que no se conocen rocas absolutamente impermeables, ni tampoco sería fácil establecer una línea de separación entre las unas y las otras.

Las permeables son entre las que circula el agua, las que forman el receptáculo acuífero subterráneo como lo llama Villarello (1) o receptor subterráneo de Fuller (2). Las permeables pueden serlo de dos maneras:

(1) J. D. Villarello. Hidrología interna de los alrededores de Cadereyta. Parergones del Instituto Geológico de México. Tomo I.

(2) M. L. Fuller. Summary of the Control-

1.<sup>a</sup> De permeabilidad porosa natural, propia u original según la llaman diferentes autores, y

2.<sup>a</sup> De permeabilidad en grande, adquirida, secundaria o localizada.

Fuller nos dá los diferentes tipos más importantes de receptor subterráneo:

### I. FORMAS ORIGINALES.

- A. Poros o huecos originales.
- B. Planos de laminación.
- C. Planos de lechos de estratificación.
- D. Vesículas (en las rocas ígneas solamente).

### II. FORMAS SECUNDARIAS.

- A. Poros secundarios.
  - 1. Poros o huecos resultantes del lavado y solución de algunas substancias.
  - 2. Poros resultantes de recristalización.

#### B. Poros por solución.

- 1. Cavidades aisladas.
- 2. Canales tubulares.
- 3. Aberturas hojosas.

#### C. Receptores erosionados mecánicamente.

- 1. Canales tubulares.
- 2. Aberturas en bolsas.
- 3. Aberturas en hojas.

#### D. Aberturas de fracturas.

- 1.<sup>a</sup> Aberturas irregulares (leptoclasas de Daubrée).
  - a). Grietas de desecación.
  - b). Fisuras de contracción.
  - c). Fracturas de torción.
  - d). Roturas de desgarramiento producidas por compresión o tensión.
  - e). Fracturas por vibración.
  - f). Rupturas por explosiones.

2.<sup>a</sup> Juntas (diacclasas de Daubrée).

- a). Juntas verticales.
- b). Juntas horizontales.
- c). Juntas paralelas.
- d). Juntas de intersección.
- e). Juntas de brechas.

3.<sup>a</sup> Fallas (paraclasas de Daubrée).

- a). Planos de simple falla.
- b). Planos de fallas paralelas.
- c). Fallas irregulares.
- d). Fallas de intersecciones.
- e). Brechas de fallas.

4.<sup>a</sup> Contactos de vetas.

5.<sup>a</sup> Contactos ígneos.

6.<sup>a</sup> Planos producidos por desgarraduras.

E. Planos de crucero.

F. Planos de foliación y de esquistosidad.

En el Iztaccíhuatl tenemos los siguientes tipos de receptores subterráneos caracterizados de la siguiente manera:

#### I. En las formas originales:

- A. Poros entre los elementos constitutivos de las rocas como arenas, gravas, tobas y conglomerados.
- C. Huecos entre los lechos de separación de rocas diferentes como de arenas con andesitas o entre andesitas de dos corrientes diferentes.
- D. Vesículas entre andesitas y basalto escoriosos.

#### II. En las formas secundarias:

- A. Poros secundarios.
  - 1. Poros o huecos dejados por lavado o solución de algunas substancias.
- C. receptores erosionados mecánicamente.
  - 1. Huecos dejados por el arrastre de substancias debidas a la energía del agua.
- D. Aberturas de fracturas.

Tenemos todos los tipos en las andesitas y algunos en las brechas, conglomerados, tobas y arenas consolidadas.

ling Factors of the artesian flows. U. S. Geological Survey. Bull, 319, pág. 8.

### E. Planos de cruceros.

Poros entre los elementos constitutivos de las rocas, lo propio de las rocas que poseen permeabilidad propia, natural, porosa u original.

*Arenas.* Las arenas existentes en la falda del Iztaccíhuatl, son en su mayoría arenas volcánicas algo consolidadas, que ya hemos dicho que cuando afloran se presentan con un color amarillento debido a la alteración y oxidación de los elementos ferruginosos; pero en el interior, en las partes no expuestas a los agentes oxidantes exteriores, conservan las arenas un color gris azulado. Los granos de las arenas tienen un tamaño variable, debido a las diferentes densidades de los materiales que las forman y por lo mismo, las hay finas, medias, gruesas y muy gruesas. Su origen puede ser cualquiera de los muchos focos eruptivos comarcanos, pero los intercalados entre las diferentes corrientes de lavas es más probable provengan de los focos que les fueron contemporáneos.

Una erupción con desprendimiento de arenas o de cenizas, ya sea del antiquísimo cráter del Iztaccíhuatl o del joven Popocatepetl o de algún otro foco primero extinguido y después sepultado por las corrientes posteriores, tenía que lanzar sus arenas a distancias variables al pie o en las cercanías, tenían que caer los elementos gruesos y más pesados, un poco aparte otros de menor peso, juntos con otros más grandes pero de menor densidad y así sucesivamente, hasta lanzar a grandes distancias los elementos poco pesados, que podían flotar en el aire, tal como pasa hoy en nuestros centros eruptivos, como en el volcán de Colima. Algunas veces las arenas volcánicas llenaban hasta cubrir antiguas barrancas profundas o se extendían formando mantos relativamente uniformes que cubrían a las formaciones existentes. Después, estas barrancas rellenas, o estas sabanas arenosas, fueron a su vez cubiertas por las corrientes posteriores que cubrieron todo lo anterior metamorfolizando por el calor, sólo la parte superior del terreno que iban cubriendo.

En nuestro caso tenemos todas estas manifestaciones y orígenes, afloran por muchos puntos las arenas formando ya-

cimientos irregulares en algunos casos llenando antiguas barrancas, como en Cabeza de Negro; en otras varias partes se encuentran cubriendo todas las corrientes ígneas formando gran parte de la tierra vegetal debido esto a que los elementos feldespáticos se kaolinizan muy fácilmente debido a su estado de división que permite que el aire, el frío y la humedad penetren sin dificultad.

Las arenas volcánicas son un medio muy permeable por los numerosos y grandes huecos existentes entre sus granos por los que puede circular fácilmente el agua y son una fuente de gran rendimiento para los recursos de aguas, especialmente cuando se presentan llenando antiguas barrancas que bajan desde las partes altas de la montaña y de un espesor relativamente grande, porque entonces los efectos metamorfolizantes de las corrientes superiores se dejan sentir en una costa gruesa, que desempeña el oficio de lecho confinante, pero dejando al conjunto sus propiedades de permeabilidad muy eficaz.

*Gravas.* Las gravas las hay en formación antigua y contemporánea, las contemporáneas no tienen importancia en la circulación de las aguas puesto que sólo ocupan algunas partes reducidas de los lechos de los arroyos actuales y son, por lo tanto, superficiales. Las gravas antiguas son o arenas gruesas que tienen un origen como el de las arenas volcánicas y entonces tienen todos los caracteres ya mencionados o son formadas por antiguos arroyos, y como siempre ha existido una topografía escabrosa ocuparon muy poca extensión y son como formación, de poca importancia en la circulación de las aguas.

*Conglomerados y brechas.* Los conglomerados los hay de diferentes naturalezas: flojos, compactos, de fragmentos de tamaños muy variables y de diferentes edades. Los compactos están compuestos de andesitas cementadas con lavas como en la base de algunas corrientes, tienen un color rojo, generalmente, sin que tengan un gran desarrollo, son permeables; otros conglomerados compactos están formados de fragmentos andesíticos cementados por un material silicoso proveniente de aguas solidificadas como en los



flancos del arroyo de Toconesco, algunos conglomerados del llano de Atlihuayán y los encontrados en el túnel número 7. Después de los derrames de lavas y después de pasada la actividad principal del Iztacchuatl y quizá de Llano Grande, hubo afluencia de aguas termales, verdaderas aguas mineralizadas que tienen sílice y otras varias substancias que al disminuir su presión a la temperatura, disminuí su poder de disolución produciendo un depósito de sílice y de otras substancias como sulfuro de fierro bajo la forma de piritita y quizá de otros substancias metálicas. Estos conglomerados, metamorfizados por la circulación de estas aguas, son impermeables prácticamente si carecen de fracturas que los hagan permeables, estos conglomerados se encuentran en relativa abundancia en la barranca de la Planta de la Cuesta, hacia el Norte, son poco gruesos y no forman una cubierta uniforme sino que faltan en muchos puntos como una consecuencia de la activa erosión.

Existen otros conglomerados flojos o relativamente flojos, que muchas veces son verdaderas brechas con guijarros angulosos, cementados con un material sin consistencia como son: arcillas y arenas. Estos conglomerados tienen una importancia que no se ve a primera vista, forman muchos de los taludes y el fondo de las grandes barrancas que irradian de la montaña desde las partes más elevadas hasta las partes más profundas e inferiores. Las hay de tres clases, según su modo de formación: unos provienen de la desintegración de los acantilados que se resuelven en fragmentos de todas dimensiones, que después son cubiertos por los detritus más finos de la alteración de las rocas y después invadidos por la vegetación, otras veces estos conglomerados provienen del arrastre de los arroyos cuando tenían una energía de transporte mayor que la actual porque eran más caudalosos y después se depositaban en el fondo de los arroyos, fondo que ha cambiado de lugar formando especies de terrazas. Los conglomerados no son más que los canchales terminales de antiguos ventisqueros, canchales que han cubierto toda la extensión de algu-

nas barrancas en su proceso de disminución del ventisquero al cambiar los tiempos geológicos del cuaternario al actual.

Esta formación es extensa y forma los flancos de las barrancas en un espesor que pasa de 60 y 80 metros como se ha visto en Cabeza de Negro, en una altura de más de 100 metros; en las otras barrancas se tienen conglomerados en iguales proporciones, cubiertos por la vegetación, con excepción de aquellos derrumbes de los acantilados que son relativamente recientes, pues hay lugares de 3,800 metros para arriba, en que todos los años se verifican. Esta formación es muy permeable y desempeña un papel importante en la circulación de las aguas tanto como superficie de abastecimiento como de distribuidora de las aguas para las formaciones subyacentes.

Quando las lluvias caen, y sobre todo cuando las nieves se licúan en estos conglomerados, una gran cantidad de esas aguas penetra por los innumerables huecos bien perceptibles hasta las rocas subyacentes, en donde siguen caminos diferentes según la clase de roca que esté cubierta por este material permeable. También el agua circulando por los diferentes medios permeables o "receptores subterráneos" o "receptores acuíferos subterráneos" de la montaña, tiende a salir en los flancos de las barrancas que desempeñan el papel de canales de drenaje y llegan a los conglomerados que cubren esos flancos que son los que se encargan de distribuir el agua que será consumida por la evaporación que hacen las plantas, la que éstas consumen, la que se evapora directamente y la que escurre en forma de manantiales por los lechos de los arroyos.

Las tobas, las brechas y toda la gradación de las rocas originadas por el material volcánico, difieren de las formaciones de arenas volcánicas y de los conglomerados que hemos descrito, en que sus poros son más pequeños, pudiendo llegar a ser capilares o subcapilares; y según lo cerrado de su grano, venir a ser rocas más o menos eficaces para la circulación de las aguas. Cuando los poros son capilares el agua no circula, sino que la gravedad se en-

cuentra neutralizada por la adherencia del agua sobre las paredes del poro, necesitando mucho tiempo para poder transportarse de un lugar a otro más bajo; pero nuestras tobas aun cuando son más coherentes, más compactas y menos permeables que las arenas volcánicas no son de grano muy fino, puesto que se han formado por material proveniente de focos eruptivos cercanos, debiendo considerarse como una formación bastante permeable, siendo más abundantes en la barranca de la Planta de la Cuesta, para el Norte, y más escasas al Sur.

*Huecos entre los lechos de separación de las rocas.* Ya hemos hecho notar que las corrientes andesíticas han escurrido sobre arenas volcánicas, gravas, tobas o brechas o sobre otras corrientes anteriores, todo de superficie irregular, sinuosa; corrientes ígneas que a medida que avanzan del lugar de su origen van perdiendo calor y por lo tanto fluidez; por cuya causa no llenan los huecos, ondulaciones y asperezas del terreno, existiendo desde poros hasta grandes "cavernas" como la de Corbello y otras con unas especies de estalactitas de tobas escoriosas rojizas.

Las vesículas de las andesitas y basaltos en las partes superficiales de las corrientes, sin ser una formación muy importante por su extensión en la parte alta del Iztaccíhuatl, siempre constituyen un conducto de fácil circulación para las aguas en las partes que se encuentran como al Poniente de San Rafael.

En las formas secundarias:

#### A. Poros secundarios.

1. Poros o huecos dejados por el lavado o disolución de algunas sustancias, como el kaolín de los feldespatos y de elementos ferruginosos de las rocas del Iztaccíhuatl, expuestos a los efectos del intemperismo, convirtiendo a las andesitas compactas e impermeables, en rocas blandas y porosas, hasta cierto límite, y a las arenas, tobas, etc., en rocas aun más permeables.

#### C. Receptores erosionados mecánicamente.

1. Huecos dejados por el arrastre de sustancias debido a la energía del agua, caso perfectamente comprobado en el alto de una falla atravesada en el túnel número 2, entre arenas volcánicas consolidadas.

#### D. Aberturas de fracturas.

Si recordamos lo que ya hemos dicho en otros capítulos, debemos convenir que las corrientes de lavas afectaron unas veces la forma de ríos sinuosos que seguían las partes más bajas y pendientes del terreno, viniendo a ser más pastosas, mientras más lejos estaban de su origen; otras veces, cuando las erupciones suministraban un material muy abundante y fluido, las corrientes se extendían semeando mantos o sabanas que cubrían las rocas anteriores, pero siempre de espesor muy desigual: gruesas, cuando llenaban alguna sinuosidad del terreno, a veces enormemente gruesas, cuando rellenaban una barranca profunda, y delgadas cuando cubrían los filos o partes altas de las sinuosidades existentes, comportándose como las corrientes de sustancias pastosas o poco fluidas que al encontrar un obstáculo en su camino o lo arrastra o lo lleva consigo, o si el obstáculo es suficientemente resistente, la corriente sube sobre él llegando a tener un movimiento ascendente, tal como lo hacen los ventisqueros o ríos de hielo. Estos mantos y estos ríos, supongámoslos ya solidificados y lo suficientemente enfriados para constituir un todo pétreo, compacto y digamos rígido, tienen una extensión variable, pero alcanzando hasta varios kilómetros, de un espesor también muy variable, sobrepasando en algunos puntos quizá cien metros y en otros no llegando a los cien centímetros. Ahora bien, esos cuerpos rígidos quedan sometidos a las fuerzas siguientes: de vibración, por los temblores y otras de las conmociones terráqueas; de explosión, cuando han explotado los diferentes centros eruptivos muy cercanos como el Iztaccíhuatl, el Vena-

cho, el Cortés, el Popocatépetl, el Tlalmanalco y otros que han quedado sepultados entre las corrientes mismas, además de otras explosiones locales y menos importantes por la extensión de sus efectos; pero sobre todo, la fuerza más poderosa y más constante, la contracción secular de la barisfera que produce compresión, tensión, y otros efectos complicados, o sean las fuerzas orogénicas que han motivado y modificado la tectónica en esta parte de la corteza terrestre, fuerzas que producen otras secundarias de torsión, de plegamiento, etc., etc., fuerzas poderosísimas de efectos, algunas veces bruscos y rápidos, pero las más veces lentos y casi imperceptibles.

Esos mantos y esos ríos pétreos y rígidos, actuados por fuerzas tan poderosas, forzosamente se han agrietado, fracturado, produciendo bloques relativamente homogéneos sin fracturas o con pocas fracturas, más o menos grandes que forman como individuos entre otros, pero separados entre ellos por grietas, hendiduras, fisuras, fracturas o fallas, y que A. Daubrée llama litoclasas en general, de *litos*, piedra, y *clasas*, fracturas, haciendo la siguiente clasificación (1):

Leptoclasas, fracturas pequeñas menudas, divididas en: syncclasas y piesoclasas.

Diaclasas, fracturas que son de las más numerosas e importantes que tienen ciertas orientaciones generales en una roca dada, alcanzando hasta varios cientos de metros de longitud y profundidad, asemejándose a las fracturas producidas en un bloque sometido a la torsión, por lo que Daubrée dice: "expresan rupturas debidas a acciones externas y pertenecen a las quebraduras de grandes dimensiones."

Paraclasas o fallas, cuyas formas se parecen a las diaclasas pero son más a menudo curvas o con inflexiones, distinguiéndose por sus dimensiones horizontales generalmente mucho más grandes y sobre todo por la magnitud del salto que las acompaña.

Las fracturas contenidas en la andesita de la región a que nos referimos,

son de todas las enumeradas en detalle, pero la semejanza en las direcciones, tamaños y demás caracteres como receptáculos acuíferos nos obligan a considerarlas bajo los tres grupos principales de Daubrée.

*Leptoclasas.* Las leptoclasas o fracturas pequeñas son generalmente de direcciones muy variables, y de un tamaño pequeño, dividen a la andesita en fragmentos reducidos e irregulares en sus formas. Algunas veces estas fracturas no se ven a la simple vista sino que al martillar la roca y desmenuzarla en pedazos, éstos tienen caras planas que no son más que los planos de las leptoclasas. Cuando el intemperismo ha obrado sobre la roca, estas fracturas están casi abiertas y son claras a la vista, naturalmente en este segundo caso son más eficaces como receptáculos acuíferos. El túnel número 5 está sobre la corriente andesítica más baja visible en la barranca de Cabeza de Negro, corriente que aflora a la superficie; las leptoclasas son muy numerosas, visibles y relativamente abiertas desde la parte superficial hasta los 48 metros de profundidad horizontal; los fragmentos que se producen de la roca tienen un tamaño más general de 3 a 5 centímetros en su mayor longitud, produciéndose otros más pequeños y otros más grandes, algunos hasta de 25 centímetros, que son como inclusiones de la roca más silicosa y por lo mismo menos alterable. Estas leptoclasas es cierto que no están solas, existen algunas diaclasas pero por sí solas dan su contingente del agua que las penetra. En el túnel número 4, frente del número 5, la roca fué encontrada hasta los 40 metros, es decir, está abrigada y el intemperismo no se ejerce con toda eficacia, pero allí las leptoclasas se encuentran subordinadas especialmente a la existencia de una paraclasa o falla encontrada a los 74 metros de profundidad horizontal. Esta falla revela una fuerte compresión y resbalamiento, por lo que las leptoclasas son menos numerosas, muy cerradas y con cierto paralelismo a la falla, al grado de ser difícil de distinguirlas de las diaclasas, pero debido a su estrechez no proporcionan agua.

(1) A. Daubrée. Les Eaux Souterraines. All'époque actuelle. Página 130.

*Diaclasas.* Las diaclasas se manifiestan de varios sistemas: en Trancas en las corrientes superiores las direcciones generales son  $10^{\circ}$  NE. y  $55^{\circ}$  NE., casi verticales. En el túnel número 5 he notado  $50^{\circ}$  NE. y echado  $75^{\circ}$  al NW.,  $35^{\circ}$  NE. echado  $75^{\circ}$  al SE. y  $20^{\circ}$  NE. echado  $60^{\circ}$  Sureste. En el túnel número 4,  $15^{\circ}$  NE. echado al NW. En la barranca de Mexitla o en la Cuesta, las diaclasas son las fracturas más eficaces como receptáculos acuíferos, las más veces tienen agua, siendo numerosos los casos de pequeños manantiales que salen a la superficie alimentados por esta clase de fracturas, siendo uno de los principales el de Trancas.

*Paraclasas.* Las paraclasas o fallas son poco visibles en la superficie; existe una clara por Tierra Amarilla, con dirección de  $12^{\circ}$  NE. echado al SE., abajo de Llano Grande, pero en el túnel número 4, a los 74 metros de profundidad horizontal, se encontró una muy clara con  $15^{\circ}$  NE. y  $65^{\circ}$  echado al NW.; el alto está muy alterado convertido casi en arcilla impermeable acusando resbalamiento y una gran compresión; la parte descompuesta alcanza unos cuatro metros de espesor. El socavón encontró primero el alto sin filtraciones de agua, pero al pasar al bajo el agua salía por todas las fracturas de la roca, desempeñando la parte alterada el papel de un muro impermeable. En el túnel número 12 existe una falla con dirección de  $30^{\circ}$  NE. echado al SE., y también tiene agua.

Los planos de crucero quedan comprendidos entre el grupo de las leptoclasas, por ser fracturas pequeñas e irregulares, visibles sólo donde el intemperismo ha sido muy avanzado.

Las rocas que por lo pequeño de sus poros, como las arcillas, o la estrechez de sus fracturas, como en algunas andesitas que deben considerarse como rocas impermeables, o lo que Fuller llama elementos confinantes, son en nuestro caso formaciones de extensión reducida o limitada.

*Arcillas.* Las arcillas son impermeables y se encuentran poco abundantes en la región, ocupan los llanos relativamente planos que existen entre los 3,000 y 3,800 metros, sobre el nivel del mar, formando

ciénegas con las aguas que salen de las fracturas de las rocas más altas y que son un recurso como abrevaderos para los ganados, en tiempo de secas, y para nosotros una fuente, aunque pequeña, para los recursos de agua; su gasto es variable, en la temporada de lluvias es abundante, disminuyendo hasta agotarse en algunos llanos especialmente en los meses de marzo y abril. Las arcillas forman lechos irregulares alternantes con conglomerados como en los llanos de Atlihuayan, Nahualaque y otros; su colocación es muy irregular, lo que parece un lecho horizontal un poco adelante, se cambia en un conglomerado de guijarros cementados con arcillas algunas veces compactas y otras se encuentran en la roca madre; todo lo cual se debe a que el piso de las antiguas y pequeñas depresiones era muy accidentado y a que las avenidas de las aguas salvajes, en esas alturas, eran muy impetuosas, puesto que la topografía de esa montaña siempre ha sido escabrosa y en tiempos anteriores más de lo que es hoy.

Las arcillas las tenemos también cubriendo las corrientes lávicas y formando parte de la tierra vegetal, de las tobas y de todas las rocas expuestas a la intemperie y también rellenando en parte las grietas, hendeduras y fallas de las rocas en donde desempeñan un papel importante en la circulación de las aguas.

La formación de las arcillas, es una consecuencia directa del intemperismo, fenómeno a que están sujetas todas las rocas del Iztaccíhuatl y sólo las de los llanos fueron quitadas del sitio de su formación y transportadas a esas hondonadas existentes.

*Andesitas.* Las andesitas poco alteradas, muy poco fracturadas, constituyen rocas prácticamente impermeables que no se presentan a la circulación de las aguas. Debemos decir que en los flancos occidentales del Iztaccíhuatl no afloran en tan gran extensión, sino que esas andesitas impermeables existen en porciones más o menos grandes, esparcidas en todas las corrientes de lavas. Las causas de esto, son fáciles de comprender; hemos dicho que los mantos de lavas de espesor muy irregular han sufrido los efectos de fuerzas poderosas que han

fracturado y agrietado la roca por resistente que la juzguemos, formando como individuos aislados por fracturas de los otros vecinos pero como estos bloques pueden tener algunos muy grande espesor y también ser relativamente extensos, la cercanía de estos bloques será una zona o región de pocos recursos para el abastecimiento de agua para una obra que se intentara. Pero fuera de estas zonas y ateniéndonos a las condiciones de todas las corrientes visibles en las barrancas de la montaña no podríamos decir: desde tal corriente o hasta tal nivel, las andesitas tienen tan pocas litoclasas, que desde allá se tiene una región impermeable, desde donde se pueden considerar como insignificantes los recursos de aguas.

### CONCLUSIONES

Hemos descrito un alto relieve natural que desempeña un papel importantísimo como aparato condensador de la humedad y sobre el cual esa humedad cae en cantidades crecientes a medida que se eleva uno sobre el valle, y que desde los 3,500 metros con frecuencia cae al estado sólido, lo cual contribuye para que el contacto del agua que se licúa con las diferentes rocas, sea más duradero y más íntimo; hemos bosquejado hasta las proporciones del agua que escurre, la que se convierte en subterránea, la

que alimenta las plantas y la que se evapora. Hemos expuesto también, con detalle, la situación de las diferentes rocas y la manera como se conduce cada una de ellas con el agua; hemos visto que hay rocas eminentemente permeables contenidas entre rocas poco permeables y algunas prácticamente impermeables. Hemos indicado todas las características y hasta el origen de los diferentes manantiales desde la cima de la montaña hasta el valle y vemos que existe una zona de manantiales muy constantes y con una alimentación relativamente lejana y que esa zona existe en las diferentes barrancas como la de Cabeza de Negro, Chalma y San Antonio y otras semejantes o tributarias de éstas.

Teniendo en cuenta todos estos caracteres, es fácil concluir que las obras que traten de acrecentar los recursos de agua tendrán que ser túneles horizontales que tiendan a cortar transversalmente a las venas permeables. No tratarán de ir hacia la parte central y maciza de la montaña, sino que serán relativamente superficiales, cerca de las partes permeables, de preferencia abajo de las arenas volcánicas que son los caminos más fáciles del agua, o donde las andesitas se encuentran fracturadas permitiendo el paso de las aguas, lo que se indica con precisión por las zonas de manantiales a que nos hemos referido.