

LIBRO QUINTO

EL AGUA.—LAS NUBES.—LAS LLUVIAS

CAPÍTULO I

EL AGUA EN LA SUPERFICIE DE LA TIERRA Y EN LA ATMÓSFERA

EL MAR.—LOS RIOS.—VOLÚMEN Y PESO DEL AGUA QUE HÁY EN LA TIERRA.—CIRCULACION PÉRPETUA.
EL VAPOR DE AGUA EN LA ATMÓSFERA.—SUS VARIACIONES SEGUN LA ALTURA,
LOS LUGARES Y EL TIEMPO.—HIGRÓMETRO.—EL ROCÍO.—LA ESCARCHA

El globo al que nos tiene adheridos la atracción mide 3,183 leguas de diámetro, es decir, 10,000 leguas de circunferencia. Este globo es una esfera cuyo volúmen llega á unos mil billones de metros cúbicos (1.083,000.000,000). Si fuese de agua, pesaría 1.000 trillones de kilogramos, por cuanto cada litro ó decímetro cúbico de agua pesa 1 kilogramo, el metro cúbico 1,000 kilogramos y el kilómetro cúbico 1.000,000.000,000. Pero como la tierra pesa cinco veces mas que el agua (5,44), el peso del globo terrestre es de 5 cuatrillones 875,000 trillones de kilogramos.

Hemos dicho que la Atmósfera que envuelve nuestro planeta pesa 5 trillones, 263,000 billones de kilogramos, lo cual no llega aun á la millonésima parte del peso de la Tierra entera (la 1.116,000.^a). Su volúmen, á la densidad de la superficie del suelo, forma una masa de 4 trillones 72,000 billones de metros cúbicos. El agua ocupa en

el sistema terrestre un puesto de tanta importancia como el aire. La profundidad media de los océanos es de cuatro kilómetros próximamente, á pesar de las irregularidades del fondo, cuyas pendientes, mesetas, montañas y valles hacen variar el nivel desde unos cuantos metros hasta 10 kilómetros. Esta profundidad media da 3 trillones 200,000 billones de metros cúbicos como volúmen de las aguas. Si el océano llegara á secarse, todos los rios del mundo juntos necesitarian 40,000 años para volver á llenarlo.

Si fuera posible reunir en una sola gota toda el agua de los mares, formaria una esfera de 60 leguas de diámetro. Si toda la superficie de la tierra fuese enteramente lisa, y el agua se desparramara por ella, la cubriría hasta una altura de 200 metros. La densidad del agua del mar, un poco mas pesada que la del agua dulce, es igual á la leche de mujer: su masa entera forma un

peso de 3,289 trillones de kilogramos, siendo la 1,786.^a parte del peso de la Tierra.

La mayor profundidad del Océano no excede de 10 kilómetros, distancia á que apenas llega también la porción respirable de la Atmósfera. En esta reducida zona de 20 kilómetros, ó sean 5 leguas de espesor, es donde tienen lugar todos los fenómenos

de la vida, desde los bosques submarinos y los extraños animales que pueblan sus negras profundidades, hasta las plantas de la superficie habitada por el hombre, las numerosas especies animales que respiran al aire libre y el cóndor que se remonta mas allá de las nieves eternas. Esta zona de vida es harto insignificante comparada con el es-

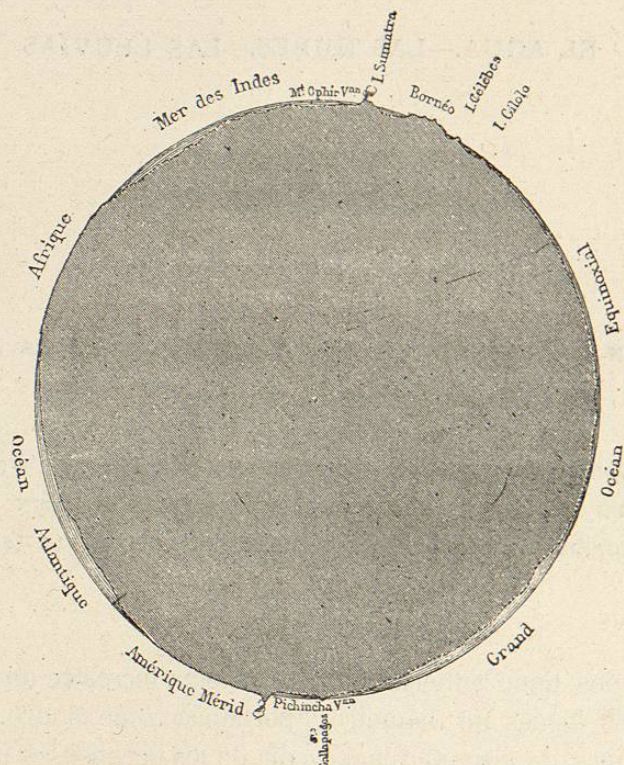


Fig. 166.—CORTE ECUATORIAL DE LA TIERRA

pesor de la Tierra, la cual es á su vez tan microscópica comparada con el sistema planetario.

Para formarnos una idea de este reducido espesor, examinemos el corte ecuatorial de nuestro globo (fig. 166). Aun abultando cincuenta veces las sinuosidades, se vé que la corteza terrestre está casi exactamente representada por un círculo. Los continentes y las islas no son otra cosa sino las cimas de las mesetas cuyo pié está sumergido. La atmósfera respirable apenas estaría representada con la misma exageración por una capa submarina de dos milímetros de espesor.

El agua del mar ocupa casi las tres cuartas partes de la Tierra en el estado que cor-

responde á la temperatura media de la superficie, es decir, en el estado líquido. Sus corrientes constituyen, según hemos visto, la gran circulación arterial del planeta. No contenta con dominar de este modo en el estado ordinario, reina también, en el estado sólido, hasta en las regiones silenciosas de los polos y en las heladas crestas de las montañas inaccesibles, y en el estado gaseoso, impera también cual soberana absoluta en la Atmósfera, cuya vida dirige, y por la cual difunde alternativamente la abundancia y la esterilidad, la placidez de los días serenos ó la tristeza de los cielos sombríos.

Dicha agua no está inmóvil ni en la profundidad de la cuenca oceánica, ni en los hielos sólidos, ni en la Atmósfera. Merced

á la atracción siempre activa del Sol, merced á las corrientes aéreas, el agua se eleva verticalmente desde el fondo del mar hasta su nivel, se evapora á todas las temperaturas, se remonta en forma de vapor invisible á través del océano aéreo, se condensa formando nubes, desciende convertida en lluvia, filtra á través de la superficie del suelo, se desliza sobre las capas de arcilla impermeable, brota constituyendo manantiales, baja por el arroyo al riachuelo, y cae en el río que la devuelve al mar. La gota de agua, al parecer insignificante, que echamos de la botella al vaso, ha hecho muchos viajes desde que existe; ha sido bebida numerosas veces sin duda alguna, porque así como nada se crea, tampoco se pierde nada; ha humedecido el rápido pico de la golondrina que describe graciosas curvas sobre la superficie de la onda; ha gemido en la tempestad en medio de los furores del huracán; ha brillado en el arco-iris; ha refrescado el seno de la rosa matinal; ha sido transportada á la cúspide de los aires en los cirros de hielo que se ciernen sobre el globo mas temerario; ha descansado en el lecho de las nieves eternas, y por las transiciones de la lluvia, de la niebla, de la tempestad, de la corriente, ha llegado de los antipodas á nuestra mesa. ¡Qué circulación tan indescriptible la del agua en el inmenso organismo del planeta!

La gota de agua que cae en el suelo penetra á mayor ó menor profundidad, según la naturaleza del terreno y su estado de sequedad; las primeras gotas de una lluvia tempestuosa no penetran en un terreno desnudo y ardiente sino que se evaporan tan luego como caen, pero por lo general podemos seguir la marcha de la gota de agua que desciende oblicuamente según las pendientes. Dáse el nombre de cuenca á un conjunto de pendientes que converge en una línea de mayor profundidad, río al que llegan todas las aguas caídas en la superficie de dicho conjunto. Entre las cuencas hay crestas ó líneas de división; de dos go-

tas de agua que caigan en un punto de estas líneas la una irá á parar á una cuenca, la otra á otra, y ambas volverán al gran recipiente por muy distintos caminos. Tres gotas de agua inmediatas que caigan, por ejemplo, en un punto de la meseta de Langres, cerca de Montigny-le-Roi, pasarán, la una por el Marne á la cuenca del Sena, la Mancha y el Océano Atlántico; la otra por el Mosa á la cuenca del Rin y al mar del Norte, y la tercera por el Saona á la cuenca del Ródano y al Mediterráneo.

Todo manantial, todo arroyo, todo riachuelo, todo río procede de la lluvia. Las aguas minerales tienen también el mismo origen, y su calor se debe exclusivamente á la profundidad del terreno hasta la que han llegado las aguas meteóricas, desde cuya profundidad suben en seguida por los intersticios de las rocas para volver al nivel de su depósito primitivo, como sucede con el sifon. Al evaporar el sol el agua de los mares, deja en estos la sal, que no es volátil. En esto consiste que el agua de lluvia sea dulce, lo mismo que la de los ríos y demás corrientes. La sal permanece constantemente en el mar, siendo tal su cantidad que podría cubrir la superficie entera del globo con una capa de 40 metros de espesor.

Así como el color azul del cielo se debe al vapor de agua, según hemos visto, así también el color del agua misma, considerada en gran cantidad, es azul; si bien sus matices pasan al verde, según la acción de la luz.

Ya en nuestro Libro I, pág. 41 y 43, hemos visto que además del oxígeno y del nitrógeno, la Atmósfera contiene otro elemento fundamental: *el vapor de agua*. En el Libro tercero, pág. 387, hemos visto también que este vapor de agua tiene una gran importancia en la distribución de las temperaturas, y que tanto su formación como su marcha representan una fuerza formidable puesta en acción permanente en la gran fábrica aérea. Por último, en el Libro IV, pág. 542, hemos

observado que el aire contiene tanto mas vapor de agua cuanto mas caliente está; que un enfriamiento conveniente le lleva á su punto de saturacion, sin añadir nada á la cantidad de vapor que contiene, sino simplemente en virtud del enfriamiento. Así, pues, para conocer la cantidad de vapor de agua que contiene el aire en un momento

dado, se podría, por ejemplo, enfriar un termómetro suspendido en el aire hasta que indicase el grado de saturacion, es decir, hasta el momento en que su bola estuviese cubierta de vapor condensado, de rocío. Buscando en seguida en una tabla la cantidad de vapor de agua que corresponde á dicho grado termométrico de saturacion, se

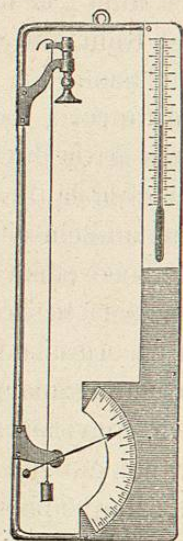


Fig. 167 —
HIGRÓMETRO DE CABELLO

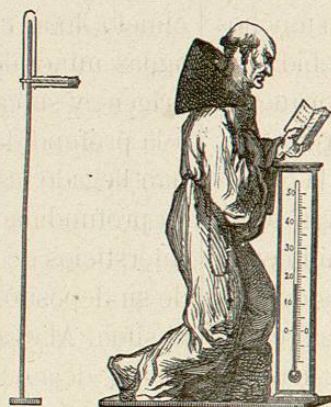


Fig. 168 —HIGRÓSCOPO

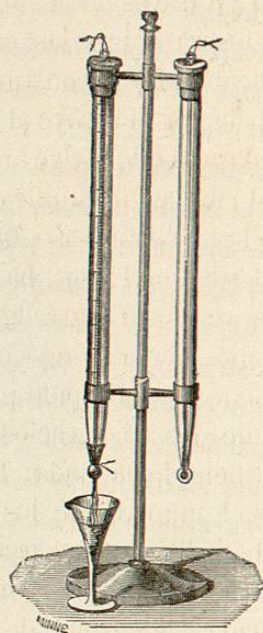


Fig. 169.—PSICRÓMETRO

obtiene la cantidad efectiva que existe en suspension en el aire en el momento del experimento. Este método, inventado por Dalton, y perfeccionado por Daniell, es, sin embargo, un tanto complicado.

Los instrumentos destinados á medir la humedad del aire han recibido el nombre de *higrómetros*, de las palabras griegas *ugros*, húmedo, y *metron*, medida. El mas sencillo de todos es el inventado por Saussure y que lleva su nombre.

Los cabellos se estiran en razon de la humedad. Esta variacion no es aparente á la simple vista; pero uniendo uno de los extremos de un cabello á la rama menor de una aguja, se puede hacer describir á la mayor un arco de círculo cuyas divisiones son bastante sensibles para acusar la proporcion de la humedad. Se ha marcado la cantidad 100 en el punto en que la aguja se detiene cuando el aire está completamente

saturado, y 0 en aquel en que queda fija cuando el aire es absolutamente seco. El espacio intermedio se ha dividido en cien partes iguales, las cuales no corresponden exactamente á la proporcion de humedad. Hé aquí esta proporcion, segun Gay-Lussac:

1 décimo	22 grados del higrómetro.
2	39
3	53
4	64
5	72
6	79
7	85
8	90
9	95
10	100

A la montura del aparato va adaptado un termómetro.

A pesar del cuidado con que está construido este higrómetro, no es de tanta precision como el aparato de Daniell, ni como

el de que vamos á ocuparnos. Los higrómetros populares lo son mucho menos aun; hacen *ver* la humedad, mas bien que la miden; y por esta razon se les llama *higróscopos*. Todo el mundo ha podido ver esos frailes cuya capucha se baja cuando el tiempo está húmedo. Su mecanismo consiste en una cuerda de guitarra fijada en el fraile que va á terminar en la charnela de la capucha movable; la humedad la encoge, tirando de este modo mas ó menos de la capucha.

En los observatorios se hace uso de un higrómetro cuya variacion no la causa la absorcion, como el de Saussure, sino la evaporacion, como el de Daniell. Débese este higrómetro, que es muy preciso, á Leslie, y ha sido perfeccionado por August. Como está basado en el enfriamiento de un termómetro, se le ha designado con el nombre de *psicrómetro* (de *psucros*, frio), y lo constituyen dos de aquellos instrumentos, tan idénticos como sea posible, colocados uno junto á otro. Uno de ambos tiene su bola envuelta en un lienzo mojado, que está constantemente húmedo por su comunicacion con un vaso lleno de agua.

El termómetro húmedo está tanto mas bajo cuanto mayor sea la evaporacion del lienzo húmedo que le envuelve, y esta evaporacion aumenta con arreglo á la sequedad del aire. Por consiguiente, la diferencia de altura de los dos termómetros se halla íntimamente ligada á la sequedad del aire, ó en otros términos, á la proporcion de humedad que contiene. No es este lugar de analizar la fórmula algebraica que expone esta relacion permitiendo calcular el estado higrométrico; pero lo cierto es que dicho aparato es el de mayor precision y el mas empleado en los observatorios.

Hemos visto (pág. 542) que el aire se halla casi siempre en su estado de saturacion en los mares; que en los continentes es tanto menos húmedo cuanto mas lejos está de las costas, y que en ciertas regiones donde la evaporacion casi no existe es su-

mamente seco. El estado higrométrico de la Atmósfera no es el mismo en toda su altura, como la proporcion del oxígeno y del nitrógeno. Por lo general, aumenta desde la superficie del suelo, hasta cierta elevacion, donde se encuentra una máxima de humedad; luego decrece á medida que la altura es mayor, de tal suerte que elevándose á una altura bastante grande se llegaría á una region absolutamente desprovista de vapor de agua, absolutamente seca.

El estudio de la variacion de la humedad atmosférica figuraba en primera linea en el programa de mis ascensiones científicas. Hé aquí el resultado de las observaciones que he hecho con el higrómetro de cabello de Saussure, construido especialmente para estas observaciones por M. Secretan, óptico del Observatorio.

En diez series de observaciones especiales que representan unas quinientas posiciones diferentes, la distribucion del vapor de agua en las capas atmosféricas ha seguido una regla constante que puede enunciarse en estos términos:

1.º La humedad del aire va en aumento desde la superficie del suelo hasta llegar á cierta altura; 2.º alcanza una zona donde se mantiene en su máximo; 3.º decrece á partir de esta zona, y sigue disminuyendo á medida que se eleva en las regiones superiores.

Esta zona, á la que daré el nombre de *zona de humedad máxima*, varía de altura, segun las horas, las épocas y el estado del cielo.

No la he encontrado sino en raras circunstancias (principalmente al rayar la aurora) inmediata á la superficie del suelo.

Esta marcha general de la humedad es constante, ya esté el cielo sereno ó nublado, manifestándose en las observaciones hechas durante la noche lo mismo que en las diurnas.

Los cuadros higrométricos formados despues de cada viaje demuestran evidentemente la permanencia de esta ley.

Preséntanse diferencias considerables con respecto á la altura de la zona máxima y á la proporción del aumento de humedad. Por ejemplo, el 10 de junio de 1867, á las cuatro de la mañana, soplando el viento N. E., á la salida del sol, y en el linderó del bosque de Fontainebleau, la zona máxima se hallaba tan solo á 150 metros de la superficie del suelo. El higrómetro construido especialmente para estos estudios marca 93 grados al nivel del suelo, y se eleva rápidamente hasta 98, al llegar á los 150 metros. Á partir de allí, va descendiendo ya á medida que el aerostato se eleva, marcando 92 á 300 metros, 86 á 750, 65 á 1,100, 60 á 1,350, 54 á 1,700, 48 á 1,900, 43 á 2,200, 36 á 2,400, 30 á 2,600, 28 á 2,900, 26 á 3,000 y 25 á 3,300. La atmósfera estaba sumamente despejada, y sin la mas ligera nube.

En otra ascension, verificada el 15 de julio, al descender á las 5 y 40 minutos de la mañana con viento S. O. de una altitud de 2,400 sobre el Rhin, en Colonia, hallé la zona máxima á 1,100 metros. El cielo no estaba enteramente sereno. La humedad relativa del aire era de 62 grados á 2,600 metros, de 64 á 2,200, de 75 á 2,000, de 85 á 1,800, de 90 á 1,600, de 92 á 1,550, de 95 á 1,330, y de 98 á 1,100. Esta era la zona máxima: luego disminuía la humedad conforme bajaba el aerostato. A los 890 metros descendió ya á 92 grados, á los 706 á 90, á los 510 á 87, á los 240 á 84, á los 50 á 83, y al llegar á la superficie del suelo era de 82. Durante el mismo descenso, el termómetro se habia elevado de 2 á 18 grados centígrados.

El 15 de abril de 1868, salí á las 3 de la tarde, con viento N., del jardin del Conservatorio de Artes y Oficios, y observé una marcha análoga en la variación de la humedad. Al remontarme en el jardin, el higrómetro marcaba 73 grados, se elevó á 74 á los 776 metros, á 75 á los 900, á 76 á los 1,040 y á 77 á los 1,150. Esta era la posición de la zona máxima. La humedad disminuyó en seguida constante y progresivamente;

siendo de 76 á los 1,230 metros, de 73 á los 1,345, de 71 á los 1,400, de 69 á los 1,450, de 67 á los 1,490, de 64 á los 1,545, de 62 á los 1,573, de 59 á los 1,608, y de 56 á los 1,650. A los 2,000 metros la humedad ambiente bajó á 48 grados, á los 2,400 á 36, á los 3,000 á 31, y á los 4,000 á 19.

Durante aquella ascension el cielo estaba nublado. El máximo de humedad resultaba un poco por debajo de la superficie inferior de las nubes.

El 23 de junio de 1867, á las 5 de la tarde y con viento N. N. E., la zona máxima estaba á 555, y tambien debajo de las nubes.

El 30 de mayo, á las 4 de la tarde, y con viento N. N. O., la humedad creció desde la superficie del suelo hasta los 500 metros, elevándose de 67 á 75 grados.

Así pues, el resultado general demuestra que la humedad aumenta desde la superficie del suelo hasta una altura variable, y disminuye en seguida hasta las mas considerables. No me creo aun en el derecho de precisar estas variaciones proporcionales, porque hay causas complejas que hacen difícil el deslinde de las reglas. Independientemente de la altura, la humedad del aire varia segun la hora, segun la elevación del sol sobre el horizonte, segun el estado del cielo, y á veces tambien segun la naturaleza seca ó húmeda de los terrenos sobre los que pasa el aerostato. A pesar de esto, creo que puede muy bien adoptarse como una observación constante la ley enunciada mas arriba, é insisto tanto mas sobre este punto cuanto que el conocimiento de la variación de la humedad relativa del aire se considera como el elemento mas importante de las bases meteorológicas.

No me aventuraré á trazar un diagrama de la variación de la humedad segun la altura, conforme lo he hecho con la disminución de la presión atmosférica y de la temperatura, porque mis observaciones no son lo suficientemente numerosas ni precisas para ello. Las de M. Glaisher, en Inglaterra, son mucho mas rigurosas, habiéndose prac-

ticado con todos los aparatos higrométricos comparados. Su resultado demuestra que, como forma general, la humedad va en aumento desde la superficie del suelo hasta los 1,000 metros próximamente, y disminuye en seguida con sinuosidades que representan capas de aire húmedas variables en altura y dimension. Por lo demás, hé aquí

la curva que M. Glaisher ha trazado para evidenciar la variación de la humedad atmosférica estando el cielo despejado. Cuando este está nublado, ofrece irregularidades mucho mas considerables aun. En la siguiente figura se vé que la humedad se ha elevado, desde los 60° al nivel del suelo, á 72 hacia los 900 metros para decrecer en

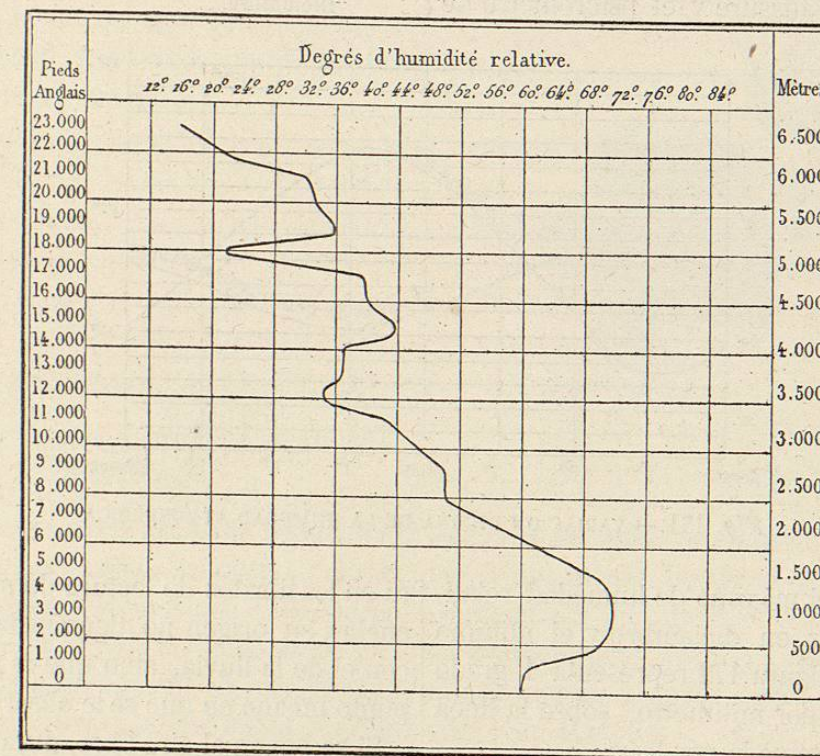


Fig. 170. — VARIACION DE LA HUMEDAD DEL AIRE SEGUN LA ALTURA

seguida casi constantemente hasta los 6,500 metros, donde no pasa de 16°.

Las observaciones hechas en las montañas confirman el aumento observado primeramente segun la altura. Kaemtz ha anotado un término medio de 84°,3 en el Righi cuando en el llano, en Zurich, era de 74°,6. Bravais y Martins han visto que el número de grados era de 75°,9 en la cumbre del Faulhorn, al paso que en Milan consistia en 63,2. Mas allá de los 1,000 metros de altura, la humedad va disminuyendo, á pesar de los aumentos particulares que de distancia en distancia le comunican ciertas corrientes superpuestas.

La humedad relativa del aire varia en la superficie del suelo segun las horas del dia,

en correspondencia inversa con la temperatura. Cuanto mas cálido es el aire, mas seco se presenta; cuanto mas frio, menos humedad se requiere para saturarle de ella. En nuestras regiones templadas se vé regularmente que el estado higrométrico del aire aumenta al salir el sol, durante el mínimo de temperatura, descendiendo luego á eso de las dos de la tarde cuando el calor llega á su máximo, y aumentando de nuevo al caer la tarde y durante la noche. Esta variación diurna, respectivamente inversa, del higrómetro y del barómetro puede apreciarse fácilmente examinando la figura 171 que representa el promedio de una larga série de observaciones hechas por Kaemtz en Halle. Las curvas trazadas en ella son