EL SUELO
(1931)
HUGUET DEL VILLAR

En el octogésimo aniversario de
"Los suelos de la Península Ibérica"
(1937)

Sociedad Española de Ciencia del Suelo
2017

Biblioteca Agrícola Salvat

EL SUELO

por

Emilio H. del Villar

SALVAT EDITORES, S. A.
BARCELONA

Agradecimientos

A las instituciones que han hecho posible la edición del libro *Homenaje a Emilio Huguet del Villar en el octogésimo aniversario de la publicación* de Los suelos de la Península Luso-Ibérica.

S E C S Sociedad Española de la Ciencia del Suelo

Institut d'Estudis Catalans

Diputació de Lleida
municipis, territori i tu

IBC Biblioteca de Catalunya

Proyecto y edición

Sociedad Española de la Ciencia del Suelo

Coordinación

Jaume Porta Casanellas
SECS – Universitat de Lleida – IEC

Diseño gráfico e impresión

Arts gràfiques de la Diputació de Lleida, Lleida

Referencia bibliográfica

Si se quiere hacer referencia a esta obra, se agradecerá que se cite como:
SECS, 2017. Homenaje a Emilio Huguet del Villar en el octogésimo aniversario de la publicación de Los suelos de la Península Luso-Ibérica. Madrid: Sociedad Española de la Ciencia del Suelo, 288 p.

Depósito legal: M-4089-2017

Esta obra no venal es de uso libre, pero está sometida a las condiciones de una licencia Creative Commons cc/by/NC/SA. Reconocimiento – No comercial – Sin obras derivadas - CompartirIgual. El beneficiario de la licencia tiene derecho a copiar, distribuir, exhibir y representar copias literales de la obra y no tiene derecho a producir obras derivadas, y siempre que no haya un afán de lucro y que se haga constar la referencia bibliográfica. Esta autorización no hace referencia al libro El Suelo (E. Huguet del Villar, 1931, 1936), sino a la versión que del mismo se hace en la presente publicación; ello se hace sin perjuicio de los derechos derivados de usos legítimos u otras limitaciones reconocidas por la ley. La Sociedad Española de la Ciencia del Suelo, titular de los derechos, puede conceder permisos que superen los términos de esta licencia.

PRESENTACIÓN

Jaume Porta
Presidente de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo

Joandomènec Ros
Presidente del Institut d'Estudis Catalans

La personalidad y la impresionante labor realizada en el estudio del suelo por el granollerense Emili Huguet del Villar quedan perfectamente expuestas en el *Prólogo* del Dr. Francisco Díaz-Fierros, catedrático emérito de la Universidad de Santiago de Compostela, por lo que no entraremos en estos aspectos.

Queremos recordar que el Dr. Jean Boulaine, catedrático que fue de l'Institut National Agronomique de Paris-Grignon, escribe en su libro *Histoire des Pédologues et de la Science des Sols* (París, 1989), refiriéndose a Huguet del Villar, a quien tuvo ocasión de conocer personalmente cuando coincidieron en el Institut Scientifique de Rabat, que dirigió Huguet del Villar (1945), que era "una personalidad brillante, conocida en el plano internacional".

Por los valores científicos que rememoran el Dr. Díaz-Fierros y el Dr. Boulaine, consideramos que la figura de Emili Huguet del Villar no ha recibido en España el reconocimiento que merece este eminente "Geobotanista-edafólogo", como se define a sí mismo el propio Huguet del Villar, además de Geógrafo. Los motivos de este olvido son diversos y no entraremos ahora a recordarlos.

2017 es una fecha memorable para recordar la labor de Emili Huguet del Villar: es el octogésimo aniversario de la publicación de su libro *Los suelos de la Península Luso-Ibérica* (416 p + grabados), por Thomas Murby en Londres, en español y en inglés, traducción que realizó su amigo el profesor Gilbert W. Robinson de la Universidad de Bangor (RU). Al año siguiente se publicó el *Mapa de Suelos de la Península Luso-Ibérica* en color a escala 1: 1.500.000 (Thomas Murby, London).

Por todo ello, la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo (SECS) y el Institut d'Estudis Catalans (IEC) no han querido dejar pasar la ocasión para rendir un pequeño homenaje a la persona que introdujo el estudio del suelo

en España, que es quien le dio el nombre de *Edafología* en lengua española. Merece ser difundida su figura y su obra entre los científicos del suelo más jóvenes.

Lo hacemos por medio de la reedición en igual formato del libro *El Suelo*, publicado por Salvat Editores, S.A. en la Imprenta Hispano–Americana, S. A. en Barcelona en 1931 y reimpreso por la misma editorial en 1936, ediciones que, si bien difieren en el paginado, son coincidentes en el contenido. Se ha utilizado la edición de 1931 de la Biblioteca de Catalunya (Barcelona) y se ha maquetado e impreso en los talleres Arts Gràfiques de la Diputació de Lleida; a todas estas instituciones les agradecemos que hayan hecho posible este reconocimiento a una figura eminente: Emili Huguet del Villar.

24 de febrero 2017

PERFIL BIOGRÁFICO DE EMILIO HUGUET DEL VILLAR

Francisco Díaz-Fierros Viqueira
Catedrático Emérito. Universidad de Santiago de Compostela

Años de formación. Emilio Huguet Serratacó nace el 17 de agosto de 1871 en Granollers (Barcelona) siendo hijo del abogado Joaquín Huguet del Villar (de quién adoptaría, posteriormente, sus dos apellidos) y de Celeste Serratacó. Estudió el bachillerato en el colegio de los jesuitas de Barcelona y pronto destacaría por su temprana afición a la lectura, ya que a los diez años leía con interés y afición a Julio Verne y a los clásicos españoles y universales.

Con el bachillerato concluido decide emigrar en 1887 a América (posiblemente a la Argentina) donde pasó trece años dedicado a la docencia de la historia y la geografía. A su vuelta a España, en 1900, con 29 años, se instala en Madrid donde pronto se da a conocer por sus colaboraciones en revistas como *Hojas Selectas y el Nuevo Mundo* donde publica numerosos artículos sobre temas muy variados entre los que predominan los relativos a viajes, costumbres, geografía, historia y ciencias naturales. Desde 1903 hasta 1912, período en el que fue más intensa su actividad como periodista, publicó casi 250 artículos, sobre todo en Nuevo Mundo, donde su firma era una presencia casi obligada. Pero también colaboró, posiblemente en varios casos con pseudónimos, y llegó a ocupar puestos directivos y de responsabilidad en otras publicaciones como *La Lectura, Aire Libre, La ilustración Española y Americana, La ilustración Artística y Nuestro Tiempo*. También hay constancia de que era un miembro asiduo del Ateneo de Madrid donde impartió varias conferencias.

Antes de su etapa madrileña, es probable que la primera localidad donde se asentó fuera, por razones familiares, Barcelona, ya que en ella fue donde realizó también sus primeros contactos editoriales con conocidas empresas catalanas como Soler, Gallach o Salvat, con las que publicó sus primeros libros de temática americana: *En las Pampas. Narraciones de costumbres americanas* (Salvat, 1904) y, sobre todos los dos volúmenes, en los "Manuales Soler", sobre *Las Repúblicas Hispano-Americanas* (1906). De todas formas, aunque siguió realizando algunas publicaciones más con editoriales y revistas catalanas, pronto su actividad, en esta primera etapa, se desplaza a

Madrid donde se casa y se establece de forma estable, posiblemente, porque entre otras razones su medio de vida estaba cada vez más centrado en sus colaboraciones con las publicaciones madrileñas.

Existe la tradición de que Huguet del Villar cursó los estudios de Magisterio, sin embargo sus biografías más acreditadas (en la *Enciclopedia Universal* de Espasa-Calpe (1923) y la de Jordi Martí Henneberg en *Emilio Huguet del Villar* (1871-1951). *Cincuenta años de lucha por la ciencia* (Barcelona, 1984) no citan este dato, por lo que habría que aceptar que la única formación reglada que recibió fue, la secundaria, con los jesuitas de Barcelona. El resto de sus conocimientos a su regreso de América, que no eran pocos, habrían sido adquiridos a partir de su experiencia docente, por las numerosas lecturas y viajes que pudo haber realizado y, sobre todo, gracias a su hábito observador y a su espíritu crítico y sistemático. Tenía en consecuencia una formación esencialmente autodidacta.

Es sintomático con relación a su pensamiento que la primera colaboración que realizó en España, en el mismo año de su regreso, fuese en *La Revista Contemporánea* publicación ideológicamente afín a la Institución Libre de Enseñanza que, por aquellos tiempos, lideraba un ambicioso proyecto de renovación pedagógica. El tema también estaba dedicado a la enseñanza ("Consideraciones sobre las reformas en Filosofía y Letras") y en él adelanta ya algunas opiniones que serían posteriormente una constante en su vida, como la necesidad de que en facultades donde la historia era una de las temáticas fundamentales, existiese también asignaturas como la geografía y la antropología que sirviesen para fundamentar las leyes que justificaban el comportamiento de las sociedades humanas en función del medio natural sobre el que se asentaban. Razonamiento de corte evidentemente positivista que de alguna forma se enfrentaba ya con el ambiente tradicional e idealista que dominaba el sistema universitario español de la época.

Resulta evidente, a partir de sus publicaciones y sus relaciones personales e institucionales (Ateneo, Sociedad Española de Historia Natural, Real Sociedad Geográfica, etc.), que Huguet se mueve en estos primeros años de su vida profesional en ambientes intelectuales donde sistemas como el racionalismo o el evolucionismo son aceptados sin problemas. Toca una gran variedad de temas, frutos de su amplia cultura, pero poco a poco se va decantando hacia la visión de una historia que va siendo cada vez más determinada por las condiciones económicas que, en última instancia, son dependientes del medio donde se asienta. En esta línea, el problema de España lo contempla

con los mismos ojos que los regeneracionistas que consideran que solo una acción decidida sobre el aprovechamiento racional de sus recursos pondría al país en la senda de su recuperación. En definitiva, sería la geografía la que estaría condicionando nuestra vieja y nueva historia.

Este pensamiento geográfico, muy relacionado con las teorías deterministas del alemán Ratzel, Huguet lo condensa en su libro *El valor geográfico de España. Ensayo de Ecética* (1921) donde, por un lado, presenta su concepto de la "ecética" como la disciplina geográfica que estudia la actividad de las relaciones humanas para mantener el mayor número de población, en las mejores condiciones y en el menor espacio posible. En definitiva, la ciencia que trata de optimizar el uso del espacio para conseguir el mejor asentamiento de poblaciones numerosas y satisfechas. Y, por otra parte, aparece también esa afición, tan suya, de crear e introducir vocablos nuevos (como el de ecética) que le viene de su profundos y fecundos conocimientos filológicos.

La dedicación al estudio de las ciencias naturales lo debió de acompañar desde su vuelta a España, sin embargo no se tiene constancia de estos conocimientos hasta 1909 en que en un artículo de *Nuevo Mundo* (Nº 813) dedicado a la crítica de una obra de geografía médica se define como "el que conoce un poco la geografía botánica de España" y lo demuestra a continuación con una breves pero eruditas críticas del libro. Es de suponer que a estas alturas Huguet ya habría realizado numerosas excursiones por el país y sobre todo abundantes lecturas de esta disciplina. Algo de lo que deja clara constancia en otro artículo de NM (N º 882) sobre el "Mundo Vegetal".

Uno de los lugares donde centró de forma preferente sus observaciones sobre ciencias naturales fue la Sierra de Gredos, la que, según su propio testimonio, "viene siendo objeto de mis estudios desde 1912". Sobre la misma publicó algunos artículos en revistas de divulgación hasta que, en 1915, recién aceptado como miembro de la Sociedad Española de Historia Natural, se decide a intervenir en una sesión pública y escribir una nota científica sobre el glaciarismo de Gredos. Esta comunicación, sin ser la primera que se realizaba sobre esta formación geológica, si fue la primera que lo hacía con datos y criterios científicos rigurosos (incluyendo un mapa descriptivo), de tal manera que llamó la atención del todopoderoso y famoso paleontólogo suizo, nacionalizado español, Hugo Obermaier, que tenía desde hacía tiempo la intención de estudiar el glaciarismo cuaternario de la Sierra de Gredos. Ese mismo año, Huguet acompañó a Obermaier y Carandell (notable geólogo y geógrafo catalán) en una excursión científica que dio origen al

definitivo estudio que publicaron al año siguiente en los *Trabajos del Museo Nacional de Ciencias Naturales* (Serie Geológica, nº 14).

Una de las conclusiones que se pueden deducir sobre el método de trabajo de Huguet en esta primera etapa formativa de su vida es el carácter interdisciplinar de sus observaciones y estudios. Centrándonos en el ámbito de las ciencias naturales, nos lo imaginamos en sus trabajos de campo anotando simultáneamente datos sobre la botánica, mineralogía, petrología o geomorfología de una zona en un intento, por comprender analíticamente, por una parte, sus diferentes elementos pero, por otra, tratando de aprehender de forma sintética y unitaria su realidad geográfica.

Había alcanzado también un sólido reconocimiento como articulista que se prodigaba en los más variados medios madrileños, así como la de un ameno conferenciante en el Ateneo, donde podía tratar de los temas más diversos. Pero, sobre todo, comenzaba a ser valorada su presencia en las sociedades científicas a las que pertenecía, en las que sus contribuciones, originales y documentadas, eran consideradas siempre con interés y respeto. Salvo en los medios universitarios, donde nunca consiguió alcanzar notabilidad, en el resto de los ambientes intelectuales de la capital, la opinión de este autodidacta sin condicionantes profesionales, muy exigente, siempre libre y un tanto transgresor, era recibida con satisfacción.

Trabajos en Geobotánica.- Este personaje que "conocía un poco la geografía botánica de España" se declaraba discípulo, en botánica, del catedrático de Fitografía de la Universidad Central Eduardo de los Reyes Prósper, sin embargo es más que probable que los primeros trabajos que publicó sobre esta especialidad en el Boletín de la Sociedad Española de Historia Natural (SEHN), entre 1915 y 1916 sobre las especies *Betula pubescens, Nardus stricta* y *Armeria* fueran debidos más a su genio particular que a las enseñanzas del maestro. Por otra parte, sus lazos con la SEHN, y a través de ella con el mundo universitario, duraron poco porque a partir de 1917 no aparece ya ningún tipo de vinculación con esta Sociedad. Es probable que los desencuentros que tuvo con Eduardo Hernández Pacheco a partir de ese año y, quizás también, los nuevos planteamientos que estaba introduciendo en los estudios de geografía botánica, contrarios en muchos aspectos a los desarrollados por los botánicos de la Sociedad, fuesen los motivos fundamentales de sus fricciones así como de su alejamiento de la misma.

Lo cierto es que ya, como mínimo desde 1919 comienzan sus relaciones con el gran botánico valenciano, afincado en Aragón, Carlos Pau, al que le

comunica y consulta sus intenciones de realizar una geografía botánica española que había comenzado siete años antes. También se hace miembro de la Sociedad Ibérica de Historia Natural, la nueva denominación que adoptó en 1919 la antigua Sociedad Aragonesa de Historia Natural y de la que era socio destacado el citado botánico. En 1923 crea Huguet la Sección de Madrid de dicha sociedad y en este mismo año comienza su vinculación al *Museu de Història Natural* de Barcelona como regente de la plaza de Fitogeografía para la que había sido propuesto y nombrado.

Este reencuentro con los naturalistas catalanes se produce a partir del mutuo aprecio que existía por estas fechas entre Huguet y Pío Font Quer, facilitado posiblemente por el común amigo que tenían los dos botánicos, en Carlos Pau. De todas formas, fueron también unas relaciones efímeras, porque solo un año después, Huguet manifiesta su malestar por la falta de recursos para sus trabajos, por los repetidos viajes que realizaba a Madrid para completar los estudios de campo que tenía emprendidos. Es cesado de su cargo en 1924.

De todas formas, este breve paso por la institución científica catalana le sirvió a Huguet para poder participar como representante del *Museu* en la III Excursión Científica Internacional sobre geografía botánica, celebrada en Suiza en 1923, que era la primera reunión científica mundial de esta especialidad, tras el paréntesis impuesto por la guerra mundial. Allí, Huguet, pudo conocer de primera mano a los principales especialistas mundiales en la materia, como Josias Braun-Blanquet, y valorar las diferentes tendencias científicas que en ese momento estaban discutiéndose sobre las leyes de la distribución espacial de la vegetación.

Instalado de nuevo en Madrid, puede dedicarse a pleno rendimiento a completar su estudio sobre la estepa central española, a pesar de las duras condiciones familiares por las que estaba pasando (conoce la enfermedad de la que moriría su mujer en 1926, así como la demencia irreversible que padecía su hijo). En 1925 aparece su transcendental trabajo *Avance Geobotánico sobre la pretendida estepa central de España*, en la importante revista de divulgación *Ibérica* que publicaban los jesuitas del Observatorio del Ebro. Y en este mismo año crea la Comisión Española de Edafología y Geobotánica con el apoyo institucional de los ingenieros agrónomos y los ingenieros de montes que, a partir de este momento, serán los cuerpos del Estado con los que mantendrá unas relaciones más estables y fecundas. De hecho, será de sus instituciones de donde Huguet obtendrá los recursos necesarios para

mantener las investigaciones y publicaciones en Geobotánica y Edafología que realizará hasta la Guerra Civil. En 1927 asiste al Congreso Internacional de Geobotánica en Ithaca (USA) y en 1929 publica en la reconocida Colección Labor, su *Geobotánica*.

Los trabajos de geografía botánica de Huguet del Villar son considerados como los primeros realizados en España sobre ecología vegetal y de hecho su publicación *Avance Geobotánico*, como el hito inaugural de esta disciplina. En él se presentan por primera vez en nuestro país las transcendentales teorías de Clements sobre la sucesión vegetal (*Plant Succesion*, 1916) que, en muchos aspectos, se contraponían a las tendencias fixistas europeas que eran las dominantes en España. De acuerdo con la teoría sucesional, la estepa central española no era una formación natural como las estepas centroeuropeas o rusas, caracterizadas por un clima con lluvias en verano, si no el resultado de una etapa degradacional como consecuencia de la destrucción de antiguos bosques mediterráneos. Estas teorías lo enfrentaron con una buena parte de la botánica oficial española y, a buen seguro, que fue fuente de controversias y de alejamiento de instituciones como la Universidad, el Museo de Historia Natural o la SEHN.

El espíritu inquieto e innovador de Huguet en geobotánica no concluye aquí, sino que también fue un adelantado de la sociología vegetal cuantitativa, para la que propone métodos nuevos y originales, así como la creación e introducción de términos científicos, como el de *sinecia*, hoy totalmente aceptado en el mundo de habla castellana.

Creación e institucionalización de la Ciencia del suelo en España.- Prácticamente desde 1909 se venían realizando contactos internacionales en los congresos Agroecológicos donde se exponían, entre otras disciplinas, las correspondientes a la Ciencia del suelo y que, a su vez, se publicaban en los *Internacional Mittelungen für Bodenkunde*. La primera guerra mundial supuso un paréntesis en estos encuentros, que se reanudaron con el II de Praga y, sobre todo, con el IV Congreso de Roma, celebrado en 1924, en el que se aprecia que el estudio del suelo adquiere un notable nivel científico: "Una revisión de los trabajos presentados en Roma muestra que muchos científicos habían desarrollado ya conceptos claros

Emilio Huguet del Villar (Gran Enciclopedia Espasa, 1923)

sobre los suelos. Que sabían cómo describirlos, cómo estudiarlos en su conjunto y cómo nombrarlos en algún sistema de clasificación. Casi todos los países de Europa estaban bien representados en Roma y también muchos de otros continentes" (Kellog, 1974). Todo ello llevó a tomar la decisión, en ese mismo congreso, de fundar la Sociedad Internacional de Ciencia del Suelo, que celebraría su primer congreso en Washington en 1927.

Huguet asiste a esta reunión internacional "agroecológica" como miembro del *Museu de Ciències Naturals* de Barcelona y en ella presenta una comunicación sobre "Nomenclatura de los suelos desde el punto de vista de la presión osmótica", incluida en la VI Comisión ocupada del "Estudio de la fisiología vegetal en relación con la Edafología[1]". Se desconoce el contenido de la comunicación, pero por su título cabe suponer que se encuadraría en el estudio de las relaciones de los suelos salinos con la vegetación, por lo que se podría considerar *latu sensus* como un tema de carácter geobotánico. De todas formas, una vez que se toma el acuerdo de constituir la Sociedad Internacional de Ciencia del Suelo, Huguet pasa a desempeñar un papel muy activo en ella, por lo que se le encomienda, como uno de los dos españoles[2] participantes en la reunión internacional, la tarea de organizar en España el colectivo que habría de colaborar con él en la Comisión V, en la que finalmente se encuadró, correspondiente a la "Nomenclatura, clasificación y cartografía" de suelos y de la que fue nombrado presidente el norteamericano Curtis F. Marbut. En cierta manera, podría decirse que Huguet del Villar entró como geobotánico en el congreso de Roma y salió de él como edafólogo. Llegaba a la Edafología, con cincuenta años, en plena madurez vital.

Las tareas, una vez en España, no fueron fáciles, ya que por una parte surge el conflicto que lo apartaría del *Museu de Ciències Naturals de Barcelona* y, por otra, la falta de una tradición de estudios en esas especialidades obligó a que inicialmente la comisión fuera denominada de "Edafología y Geobotánica" de la que fue nombrado Secretario General y Técnico. En ella se integrarían, sobre todo, ingenieros agrónomos e ingenieros de montes, profesionales formados en las Escuelas Especiales de cada especialidad, dependientes

---

1 Todavía Huguet del Villar no había propuesto la palabra "edafología" como la correspondiente al estudio del suelo por lo que en la versión original del Congreso Agroecológico , en inglés, se utilizaba "pedology".

2 El otro sería el catalán Marián Saura y Fens, director del Instituto Geológico de la Generalitat, que presentó una ponencia sobre "Mapa Agronómico de Cataluña, escala 1.100.000". Hubo otros españoles inscritos, representantes de instituciones oficiales, que no es seguro que asistieran todos al Congreso.

del Ministerio de Agricultura, por lo que se seguía poniendo en evidencia, una vez más, el alejamiento de Huguet del mundo de la Universidad.

En 1925, Huguet se incorporó, a instancias del Director de la Estación Agronómica Central, el ingeniero de montes Guillermo de Quintanilla, a esta institución. Posteriormente, el gobierno decidió unificar en 1926 las investigaciones agronómicas y forestales en una única entidad, el Instituto de Investigaciones y Experiencias Agrícolas y Forestales, que duró poco tiempo por su mal funcionamiento. Se reorganizaron de nuevo de forma independiente los estudios forestales, que pasaron a depender en 1927 del Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, dirigido por el ingeniero de montes Octavio Elorrieta, quien desde el primer momento decidió contar con la colaboración de Huguet del Villar para ocupar el cargo de Especialista en Edafología y Geobotánica.

De todas maneras y quizá como consecuencia de estas turbulencias corporativas y administrativas, la Comisión de Edafología y Geobotánica apenas llegó a funcionar. Aun así, durante este tiempo recibieron la visita del edafólogo húngaro Pedro Treitz que acompañó a Huguet en diferentes excursiones de campo y, posiblemente, lo asesoró en temas relacionados con la tipología y cartografía de suelos con vistas al futuro encargo que se le realizaría de colaborar con H. Stremme en la realización del Mapa de Suelos de Europa. Una primera versión de este mapa, con la cartografía de la Península Ibérica, fue publicada por Huguet del Villar en 1927 y el conjunto del mapa europeo, a 1: 2.500.000 a todo color, fue publicado por W. Hollstein, en Berlín, en 1937.

Durante los cinco años que Huguet del Villar trabajó en el Instituto de Investigaciones y Experiencias Forestales bajo la dirección de Elorrieta, gozó de claras facilidades económicas y técnicas para llevar a cabo sus investigaciones. En 1929, en Danzing, la Comisión V de la Sociedad Internacional de Ciencia del Suelo acordó, por iniciativa de Huguet, crear la Subcomisión de Suelos Mediterráneos, que quedó definitivamente organizada a partir del II Congreso Internacional de Suelos, celebrado en 1929 en San Petesburgo, y de la que fue nombrado presidente. Durante 1930 y 1931, intentó relanzar en España la Subcomisión, solicitando participación personal e institucional para la misma, sin demasiado éxito.

En la década de los años 1930 se suceden en España una serie de circunstancias que incidirán en Huguet y en el estudio del suelo. Después del advenimiento de la República, el Presidente de la Generalitat de Cataluña, Francesc Macià, quiere que las actividades agrícolas vayan entre las avanzadas y en la

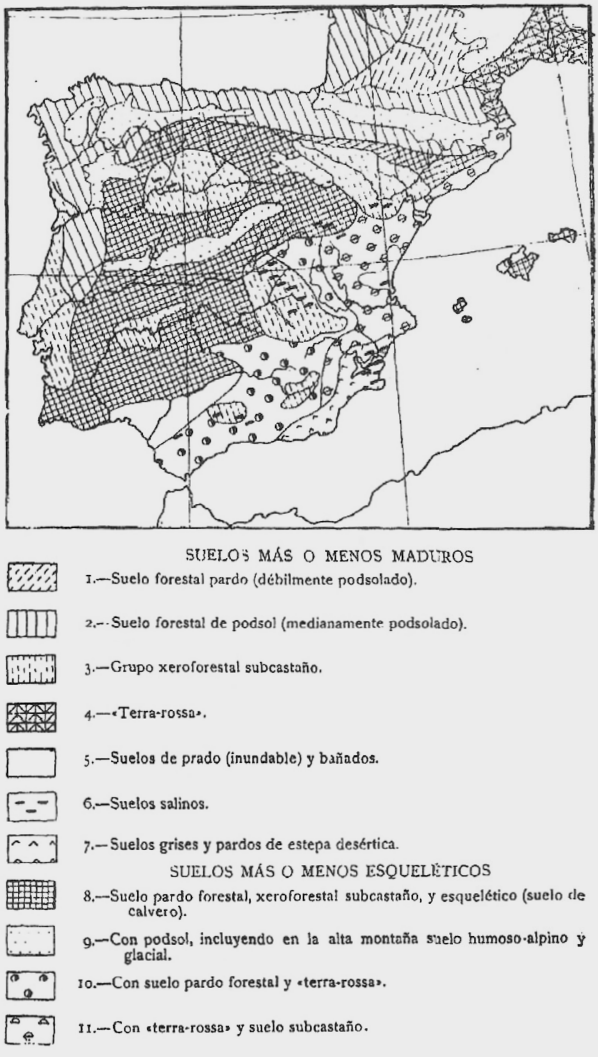
sesión del 29 de febrero de 1932, reunido el Gobierno de la Generalitat, se dicta la Orden de creación del *Institut Mediterrani de Sòls*, dependiente del *Departament d'Agricultura de la Generalitat* y domiciliado en Barcelona, en la *Escola Superior d'Agricultura*. Debía tener a su cargo los trabajos de investigación y estudio de suelos que le confiase la Subcomisión Mediterránea de la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo.

En 1932, Octavio Elorrieta cesa en su cargo de director del Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias (Madrid) y comienza una época de penurias económicas y en cierta manera (según el testimonio de Huguet) de falta de consideración a su obra edafológica, por lo que Huguet renuncia, una vez más, a su cargo. Esta circunstancia coincide en el tiempo con la puesta en marcha del Institut Mediterrani de Sòls en Barcelona, del que Huguet es nombrado Director en 1933. Pero el 25 de diciembre de 1933 muere el Presidente Francesc Macià, impulsor de la iniciativa, y Huguet ve que las expectativas creadas no se cumplen, con lo que renuncia a su cargo. Con fecha de 2 de mayo de 1934, el *Institut Mediterrani de Sòls* fue traspasado a la Junta de Ciencias Naturales dependiente del Departamento de Cultura de la Generalitat y pasando a ser el Institut de *Sòls de Catalunya*, siendo nombrado Director Antoni Oriol Anguera, que colaboraba con Huguet, y que dirigió el *Institut* hasta su disolución en 1939 tras la Guerra Civil.

En aquellos momentos Huguet preparaba para 1934 la organización de la reunión internacional de la V Comisión de la Sociedad Internacional de Ciencia del Suelo a celebrar en Barcelona, seguida de una larga excursión por España. Esta iniciativa queda truncada con el fallecimiento del Presidente Macià, así como por las convulsiones políticas de ese año. Huguet, ya en Madrid, de donde nunca se había desarraigado definitivamente, seguirá con la organización del Congreso internacional, que fue aplazado y, finalmente, celebrado en Madrid en 1935.

Los años siguientes, anteriores a la Guerra Civil, Huguet los dedicó a su participación en el Congreso Internacional de Riegos de Valladolid; en 1935 en el de la V Comisión de la Sociedad Internacional de Suelos, trasladado de Barcelona a Madrid; y, sobre todo, en la preparación de la edición de su libro y mapa a escala 1: 1.500.000 sobre *Los suelos de la Península Luso-Ibérica* que sería editado en Londres, por Thomas Murphy, en 1937.

Los años del exilio.- En 1936 Huguet realizó diversas y repetidas gestiones con la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia para trasladarse a Sudamérica, que no dieron sus frutos. Permaneció en España, en duras



Mapa de suelos de la Península Luso-Ibérica (Huguet del Villar, 1927) para el Mapa de Suelos de Europa.

condiciones económicas, hasta el año 1937, para poder recoger los primeros ejemplares de su libro, pero ya a finales de ese verano, con la ayuda de su amigo, el botánico Josep Cuatrecasas, Director del Jardín Botánico de Madrid, fue enviado al Congreso Botánico de Viena en representación de esa institución. Desde allí se trasladó a París y desde aquí a Rabat, donde tenía amistades como consecuencias de sus relaciones científicas, ya desde los tiempos de sus estudios geográficos, con diferentes investigadores de este país. Se instaló en su Centro de Investigaciones Agronómicas y gracias a una ayuda del *Centre National de Recherche Scientifique* (CNRS) francés prosiguió sus estudios sobre los suelos de Marruecos, que había iniciado ya desde España en 1931. En 1939 los tenía prácticamente concluidos, pero como consecuencia de los problemas generados por la Segunda Guerra Mundial no los pudo publicar hasta los años 1947-48, con el título de *Types de sols de l'Afrique du Nord.*

Huguet del Villar, en 1935, junto a Josep Cuatrecasas, (primero por la izquierda), Arturo Caballero (segundo por la izquierda y García Varela (primero por la derecha) (Martí Hennerberg, 1983)

Finalizada la Guerra civil, comenzó las gestiones para su vuelta a España y su reintegración en el Instituto Forestal, gracias a los buenos oficios de sus amigos, el ingeniero de montes Octavio Elorrieta y el botánico, Arturo Caballero (Juez Instructor para la depuración de catedráticos). De todas formas, otras voces que lo calificaban de "masón e insurrecto" tuvieron más fuerza en las instancias políticas y no vio logrado sus objetivos. Pudo, sin embargo, visitar su antiguo piso, requisado y ocupado ahora por un inspector de policía, de donde había sido recuperado, a instancias del Instituto Forestal, parte de su archivo, pero en tal estado de desorden y mala conservación que solo pudo ser aprovechado en una pequeña parte. Sobre todo, fue especialmente grave el estado en que habían quedado sus ficheros geobotánicos, recopilados durante más de 27 años, y que iban a ser la base de un futuro libro sobre Geografía Botánica Española.

Decepcionado, Huguet, volvió al norte de África donde, como pudo, continuó sus estudios sobre suelos, sobre todo, en el laboratorio, ya que las condiciones bélicas creaban muchas dificultades para los trabajos de campo. De hecho, no publicó nada en el período 1939-42. Concluida la Segunda Guerra Mundial, se instala ya de forma definitiva en Rabat, donde trabaja en el *Institut Scientifique Chérifien* y sigue de Presidente de la Subcomisión Mediterránea de la Asociación Internacional de la Ciencia del Suelo. Allí continúa sus trabajos sobre los suelos del norte de África y realiza sus últimas publicaciones, principalmente, su *Geo-Edafología* (1950), que sería algo así como su testamento científico, que quedó inédita y solo fue publicada, bastante años después por la Universidad de Barcelona, en 1983, tras ser rescatado el original por Jordi Martí.

Entre 1948 y 1950 volvió a España como consecuencia de las relaciones que entabló con José María Albareda, presidente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Inicialmente para impartir dos conferencias el 26 y 27 de febrero de 1948 sobre "Tipos de suelos marroquíes de especial interés" por mediación de la Oficina de Intercambio Científico del C.S.I.C. e invitado por la Sociedad Española de Ciencia del Suelo, creada un año antes, y el Instituto de Estudios Africanos (Guerra, A. 1997). Hay una carta del 21.02.1948 dirigida a Tomas Alvira secretario del Instituto de Edafología donde habla de los preparativos de las conferencias en cuanto al material que iba a utilizar (mapas, datos, etc.), así como de su interés en conocer el centro y la documentación que custodiaba, lo que da a entender que era la primera vez que lo visitaba. Posiblemente las relaciones previas con Albareda fueron de tipo epistolar, pero en cualquier caso, a partir de este momento, y a juzgar por el tono de las cartas que se cruzaron, las relaciones fueron fluidas. De hecho, Huguet recibió una subvención del C.S.I.C. de 12.000 pesetas en los años 1948 y 1949 para realizar el estudio de los suelos y la fitogeografía de la zona española de Marruecos. Así mismo envió varias muestras de suelos para que fueran analizadas en el Instituto.

En el año 1949 las relaciones con el Instituto de Edafología se intensifican, sobre todo con su secretario con motivo de la propuesta de José M. Albareda de publicar una serie de estudios que Huguet tenía inéditos o pendientes de concluir. Inicialmente sería para los "Anales de Edafología y Fisiología Vegetal", pero posteriormente también se pensó en realizar una tirada a parte de alguno de ellos. Hubo bastantes problemas, sobre todo con los mapas, que afectaron a su envío por valija diplomática y con las imprentas que se habían encargado de su edición, que finalmente se concretó en la publicación en

Anales de un artículo sobre "Contribución al estudio comparativo de las tierras negras de Andalucía y Marruecos" (AEFV, IX, 3, 1950) y una monografía sobre los "Tipos de suelos de especial interés del NW de Marruecos" (Instituto de Estudios Africanos, C.S.I.C., Madrid, 1949).

Una publicación en la que Huguet tenía un especial interés fue su estudio sobre el género *Quercus* en el mediterráneo occidental (tenía otro en preparación sobre el género *Pinus,* así como una síntesis fitogeográfica de toda el área). La importancia del trabajo, en el que intenta subsanar la "lamentable confusión" que existe sobre la historia y evolución de este género, se demuestra por el volumen del mismo: un amplio manuscrito de "600 y tantas cuartillas de texto". De todas formas, este y otros originales quedaron sin editar, olvidados y posiblemente perdidos, en los almacenes y archivos de las instituciones por las que peregrinó Huguet intentando que vieran definitivamente la luz.[3]

De todas formas, estas relaciones con la dirección del Instituto de Edafología no consiguieron atenuar sus críticas a los rumbos que estaba tomando la Edafología española, a su juicio, excesiva e inequívocamente orientada hacia el estudio coloide-químico y mineralógico de los suelos y con una grave ausencia de los trabajos sistemáticos y geográficos, según dejó escrito en su última publicación sobre *Geo-edafología*.

Emilio Huguet del Villar, moría en Rabat el 21 de enero de 1951 a los ochenta años de edad cuando ya nada, o muy poco, se podía hacer por su recuperación vital como el primero de los españoles que estudió los suelos con los métodos y conceptos que llevaron a la Edafología a situarla en el concierto mundial de la ciencia.

Aportaciones de Huguet del Villar a la Edafología.- En primer lugar habría que señalar que el propio nombre de "Edafología", expresión acuñada y

3 Según una carta de Huguet del 18.08.1950, cinco meses antes de su muerte, quedaron depositados en Madrid, en el Instituto de Edafología: 1) Original definitivo del trabajo botánico "Restauración del género *Quercus* en el Oeste Mediterráneo", 2) Un paquete de dibujos (calcos) de *Quercus* correspondiente al trabajo anterior, 3) Original en negro y en color de mi mapa de la región de Argel, 4) Originales del mapa de la región Oran-Mostaganem, 5) Instrucciones y gamas de colores para los mapas citados, 6) Un paquete con dibujos en colores de perfiles de suelos norte-africanos y 7) Doce perfiles de suelos remitidos en 12.08.1948 para análisis según desiderátum del autor, previa la venia del director, de la zona española de Marruecos. Y en los talleres de dibujo del Ministerio del Ejercito: 1) Un mapa original grande en negro y en colores del Gharb francés y una fotorreducción del mismo con correlaciones para pasar al calco caligráfico del grande, 2) Un mapa original en colores sobre impreso de la región de Casablanca-Tadla para dibujar por calco y 3) Instrucciones y gama para la reproducción de estos mapas.

popularizada por Huguet para la traducción al castellano del término inglés "Soil science" fue obra de su espíritu innovador y rigorista. El término lo introduce en 1925, aunque reconoce que el calificativo *edáfico* y el término *edafismo* ya venían siendo empleado por los geobotánicos. Por otra parte, la forma inglesa "Edaphology" la habían ya utilizado C. R. Ball, C.R. (1910) o T. L. Lyon y colaboradores (1922), hecho que recuerda C. F. Shaw (1928) en su revisión de los términos empleados en la Ciencia del suelo. De acuerdo con las argumentaciones de Shaw, Huguet señala la pertinencia de usar la palabra derivada del término griego *Edaphos* que, entre otras acepciones, contiene una que hace referencia al "espesor" del suelo, mientras que el término *Pedon* se refiere en exclusiva a la "superficie" del suelo, es decir, el pavimento que pisamos. A pesar de estas razones las denominaciones de la Ciencia del suelo derivadas de *Pedon* se fueron imponiendo en otras lenguas, por lo que el propio Huguet, reconoce que "yo mismo la empleo, por transigencia, cuando no escribo en castellano. Como en tantísimos otros casos, no es la mayoría la que tiene la razón" (*Geo-Edafología*, 1951)[4].

Otra de las cuestiones a las que Huguet del Villar dedicó tiempo y muchos esfuerzos fue a los métodos de análisis de suelos. Resulta curioso ver, que sin tener una formación específica en química o física, dedicara tanto interés al problema de la utilización de los métodos más apropiados para el estudio de los suelo. Incluso, según el testimonio de Jaume Bech (1985) en el trabajo que le dedicó a su obra edafológica, estuvo inscrito temporalmente durante el Congreso de Roma en la Comisión II dedicada al "Estudio Químico del Suelo").

Una de sus mayores preocupaciones era la de que en las fichas identificativas de suelos apareciesen siempre los datos analíticos suficientes para su descripción y tipificación. ("Cuando se discute sobre tipología de suelos, que es lo corriente, es que no se los conoce bastante, porque no se han hecho de ello los análisis necesarios. En vez de discutir, analizar. La investigación científica no consiste en hablar, sino en trabajar".

La otra, estaba relacionada con los análisis totales de los suelos. Los juzgaba totalmente desfasados, ya "que tratan al suelo como si fuera una roca" o "un cadáver" y no entendía como laboratorios "de creación moderna y bien dotados económicamente, …sigan apegados al análisis químico global". Para Huguet, una de las propiedades fundamentales de los suelos, en las que radi-

4 Ver a este respecto: J. Porta, D. Villanueva (2012): Formación de neologismos en Ciencia del Suelo. *Spanish Journal of Soil Science*, 2, 2: 90-103.

caba su dinamismo y también su capacidad productiva, se localizaba en los elementos *móviles,* protagonistas de los intercambios directos con el exterior y los elementos *movilizables,* que se ponen en circulación como consecuencia de la interacción del suelo con el medio físico y los elementos biológicos con los que está en contacto. Para su determinación, considera que la utilización de los extractos clorhídricos fue una de las grandes creaciones de la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo.

La determinación del pH y del complejo adsorbente son otras de las determinaciones singulares y características de la Ciencia del suelo, dependiendo de ellas muchas de sus propiedades fundamentales. Por otra parte, de acuerdo con Konstantin K. Gedroiz (1931), considera que "el carácter tipológico más importante del complejo coloide es la capacidad adsortiva o de cambio total. Tan necesario como el análisis físico completo o el del extracto clorhídrico, es, para que un perfil pueda considerarse bien conocido, el análisis de esta actividad adsortiva." De todas formas, y en relación con el complejo coloide, considera de mucha menor importancia para el conocimiento del suelo el estudio y caracterización de las arcillas, sobre todo, cuando se quieren utilizar con afanes sistemáticos. Según Huguet, los investigadores que intentan clasificar los suelos por sus "minerales coloides" se comportan "más bien como mineralogistas que edafólogos". Y no es un secreto para nadie el señalar que una buena parte de estas críticas iban dirigidas hacia los estudios y aplicaciones de la coloide química que se practicaban en el Instituto Español de Edafología en aquel momento.

Expuso acertadas opiniones sobre los métodos del análisis mecánico (defendiendo la escala de Atterberg) y de la materia orgánica del suelo (centrados sobre todo en las relaciones C/N) y propuso como una buena alternativa para el diagnóstico de la fertilidad de los suelos los "análisis fisiológicos" a partir de las determinaciones de los elementos minerales extraídos por las cosechas.

Todas estas ideas, Huguet del Villar intentó aplicarlas en los laboratorios españoles y africanos con los que estuvo relacionado, contribuyendo no poco a su modernización y adecuación al estudio de la fertilidad y tipología de los suelos, pero cuando estos no eran suficientes acudía, sobre todo, a sus buenas relaciones con los edafólogos húngaros, fundamentalmente con Alexius A. J. de Sigmond (1873-1939), uno de los fundadores de la Ciencia del Suelo moderna y presidente de la Comisión II de Química del Suelo de la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo, a cuyo laboratorio enviaba muestras

para que fuesen analizadas. Tras fallecer de Sigmond, estas relaciones y los análisis de suelos continuaron con su sucesor Lászlo (Kotzmann) Mados, uno de los fundadores de la Sociedad Húngara de la Ciencia del Suelo, interrumpiéndose tras el finas de la Segunda Guerra Mundial.

En relación con la dinámica del suelo o de su "metabolismo", como el lo denominaba, sus ideas estaban muy por delante de las que eran habituales en aquella época. Este dinamismo del suelo era tanto cronológico, como bioquímico o físico-químico, siendo muy de destacar en enfoque evolutivo que le atribuía a la formación del suelo, adquirido o, por lo menos afianzado, muy posiblemente, en sus profundos conocimientos de las teorías sucesionistas de Clements. La noción del suelo "clímax" era evidentemente un préstamo de sus conocimientos geobotánicos.

Distinguía claramente el suelo de la roca, así como la influencia sobre las diferentes líneas evolutivas de los procesos de la *litolísis* (otra palabra inventada por Huguet para traducir a la inglesa *weathering*, que prefería a la de meteorización). Por otra parte, diferenciaba claramente la especificidad del clima y de la vegetación como otros factores fundamentales en la formación del suelo, muy en la línea de las formulaciones de Hans Jenny, cuyos trabajos pioneros (*Factors of Soil Formation*, 1941) parecía, de todas formas, desconocer.

Una de sus aportaciones más destacadas fue la de la "hipopedógénesis" que formulaba como complemento de la "epipedogénesis" que sostenían la mayoría de los edafólogos de la época. Esta última, consideraba que el suelo era el resultado exclusivo de la acción de factores externos como el clima, vegetación o la acción humana, frente a la que Huguet añadía la acción de los agentes subterráneos, sobre todo la derivada del quimismo de las aguas hipogeas (por eso hablaba también de "hidrohipopedogénesesis"). A partir de la misma, explicaba la aparición de características edáficas relacionadas sobre todo con la acumulación de calcio y sodio en el suelo. Sobre todo sus teorías sobre la influencia en los procesos de salinización van a ser consideradas por edafólogos como Gilbert Gaucher trabajando en el Norte de África y, años más tarde, autores rusos con Victor Kovda (1904-1991) formularon teorías muy semejantes.

Sistemática y cartografía de suelos. Suelos de la Península Luso-Ibérica (1937).- Pero Huguet del Villar es conocido internacionalmente, sobre todo, por su sistema de clasificación de suelos. Presentado inicialmente en 1929 (Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias) fue sucesivamente mo-

dificado: 1930 (II Congreso Internacional de Suelos de Moscou), 1937 ("Suelos de la Península Luso-Ibérica" y en *Soil Research*), 1938 (Mapa de Suelos de la Península Luso-Ibérica), 1947 ("Types de sols de l´Afrique du Nord") hasta las versiones póstumas de 1951 (*Geo-Edafología*) y 1953 ("Méthode de classification et analyse des sols").

En su momento supuso una auténtica novedad porque rompía con la tradición de clasificar los suelos tomando como base sus relaciones con los factores externos que determinaban su localización geográfica. Sobre todo, con el clima, a partir del cual se introdujo el concepto de "zonalidad" de los suelos y, la geología, que eran los principales factores que se tenían en cuenta. En las últimas clasificaciones, como la de los suelos del mundo de Curtis Marbut (1928) se introducían ya algunas propiedades de los suelos ("pedocals" y "pedalfers") o la de Konstantine Gedroiz, (1929) complejo adsorbente o conceptos relacionados con el grado de desarrollo del perfil, como en la alemana de Alexandre I. Stebutt (1930).

De todas formas el primer sistema basado "estrictamente en los caracteres del perfil del suelo" (Robinson, 1949) fue el de Huguet del Villar. Por otra parte, en un momento donde predominaban las sistemáticas "nacionales", que pretendían dar cuenta, fundamentalmente, de la distribución de los suelos de un determinado país, el de Huguet fue concebido con criterios de universalidad para dar cabida en él a todos los suelos del mundo, objetivo que solo algunas sistemáticas compartían (como las de Konstantin Glinka, Nikolai M. Sibirtzev o Curtis Marbutt). Este carácter global fue también el que justificó que inicialmente fuera concebido como un esquema global con una cierta provisionalidad y flexibilidad que permitieran en el futuro incorporar los nuevos conocimientos de suelos que se fueran adquiriendo.

La primera versión de la sistemática de Huguet, de 1930, fue planteada como una clave dicotómica (con una más que evidente herencia de las clasificaciones botánicas) que comenzaba con las separación de los suelos en: "Desarrollados con metabolismo aeróbico libre" de los "Desarrollados en condiciones de inundación". Del primer grupo derivaban las SERIES: salina, alcalina, calcárea, alítica, acidohúmica, sialítica y aluvial, y del segundo grupo, la serie gley. A su vez, las series se subdividían en ESTADIOS, según el desarrollo del perfil (maduro, inmaduro y postmaduro) y en FASES, debidas a causas no imputables a las características edafogenéticas y de las que solo diferenciaba los casos de evolución natural de los suelos de aquellos debidos a la intervención humana.

En la última versión, de 1951, desaparece ya la clave dicotómica y las dos primeras grandes divisiones, definidas ahora como TIPOS, se establecen según su quimismo: A) "Homocíclicos", donde predomina un quimismo determinado (CICLOS "sialféricos", "calizo" y "sódico") y B) "Heterocíclicos", con un quimismo variado y complejo. A su vez los suelos Homiciclicos se subdividen en siete SECTORES (oxihúmico, sialítico, etc.) y los Heterocíclicos en ocho GRUPOS (hidro-hipogénicos sódicos, sub-ambigénicos, etc.). Estando convencido Huguet de que "todos los tipos de suelos son referibles" a los 15 sectores y grupos de su clasificación.

Uno de los aspectos adicionales fundamentales que presentaba esta sistemática radicaba en la gran importancia que daba a las propiedades edáficas, de ahí que precisara un gran número de datos sobre la composición de los suelos, que solo las clasificaciones específicamente químicas como la de Sigmond (1933) requerían. Este aspecto, que desde la concepción actual que tenemos de los suelos supondría una ventaja, en su tiempo, por la gran cantidad de análisis que precisaba, fue realmente un inconveniente para su aplicación a la prospección de suelos. De hecho, requería datos de: sales solubles, carbonatos, humus, complejo adsorbente y reacción del suelo, que no todos los laboratorios estaban en condiciones de suministrar. No era extraño, por lo tanto, que Huguet, para completar los datos que precisaba para clasificar los suelos ibéricos, tuviera que echar mano de los bien dotados laboratorios húngaros que dirigían sus amigos Sigmond y Kotzmann.

De todas formas, buena parte de la transcendencia que tuvo su sistemática, en su época, se apoyaba en la excelente calidad del *Mapa de Suelos de la Península Luso-Ibérica* que editó en 1937. De acuerdo con las informaciones que aporta Huguet (*Geo-Edafología*, 1951), era en aquel momento el que se sustentaba en una mayor densidad de perfiles descritos por unidad de superficie: el de Curtis Marbutt, reputado como una de las mejores cartografías de suelos de la época, se elaboró sobre una base de tres descriptivas por cada 100.000 km^2, mientras que el de Huguet se hacía sobre una base de quince descriptivas de suelos para la misma superficie. Sin este soporte cartográfico, su clasificación hubiera quedado como una aportación más a la sistemática de suelos, que tan abundantes eran en aquel tiempo de eclosión de la Edafología como ciencia. Sin embargo, fue conocida por los principales científicos del suelo y valorada elogiosamente por muchos de ellos, como p. e. G.W. Robinson en su prefacio inglés a los "Suelos de la Península Luso-Ibérica" (1937):

> *Esta obra debe ser tomada en cuenta por todos cuantos se ocupan del estudio de los suelos. Indefectiblemente está destinada a modificar las ideas sobre génesis y clasificación de suelos.*

y el botánico francés, Henri Gaussen, Director del Laboratorio Forestal de Toulouse, en el prefacio de su obra sobre "Pays basque et Landes" (1941):

> *El autor que mejor conoce los suelos de la región atravesada es E. H. del Villar que ha publicado recientemente (1937) una obra fundamental…Nada podemos hacer mejor que extractar del libro de E. H. del Villar, lo que pueda interesar al botánico en el estudio de los suelos.*

y la revista *Ecology* (1938):

> *La clasificación y descripción de los tipos de suelos formados en la Península Ibérica adquiere así un valor general y la interpretación, que de ellos hace el profesor Del Villar es de tal interés que modificará sin duda alguna, las ideas corrientes en la edafología y la edafogénesis.*

y la revista inglesa *Natura* (1939):

> *La exposición de su sistema contiene muchas ideas y puntos de vista que aportan una luz nueva y constructiva a las dificultades de la taxonomía del suelo, y este libro es uno de los que deben ser estudiados seriamente por cuantos se consagran a esta rama, poco desarrollada relativamente, de la Ciencia del Suelo.*

La sistemática de suelos de Huguet del Villar y, sobre todo su aplicación a la cartografía 1.1.500.000 de los suelos de la Península Ibérica, al margen de los problemas que se le podrían poner desde los conocimientos que tenemos hoy de los suelos, fue una obra singular y de referencia para su tiempo. Pero además, es una obra que por su amplitud y rigor es difícil de entender que pudiera llevarse a cabo solo por la voluntad y capacidad de trabajo de un solo hombre. Recorrerse toda España y Portugal, realizar 87 descriptivas de suelos con la densidad de datos que requería su sistemática y delinear después su cartografía es obra para un buen equipo de edafólogos. Que un único hombre la pudiera llevar a cabo, solo es posible de entender si tenemos en cuenta que, en primer lugar, tenía una formación de la que muy pocos podían alardear en aquella época (y en la actualidad): Un conocimiento interdisciplinar, teórico y de campo, que abarcaba todo el universo natural, así como una excelente formación específica en suelos cimentada con un trabajo cooperativo con los mejores edafólogos del mundo (Mar-

butt, Robinson, Treizt, ´Sigmond, Stebutt, etc.). Y, en segundo lugar, por la voluntad férrea que demostraba, por un decidido rigor e intransigencia con los métodos y principios, y por una capacidad de trabajo ilimitada que nos hace pensar que los momentos de descanso y esparcimiento no existían en la vida de esta persona.

El suelo (1931)

Esta obra de Huguet del Villar, cuya reedición constituye el objeto de esta publicación, fue publicada en la prestigiosa e imprescindible "Biblioteca Agrícola Salvat" de Barcelona en el año 1931, con una segunda impresión en 1937. Esta biblioteca, especializada en temas agropecuarios, se inicia en 1918 por la editorial Salvat, año en el que precisamente se edita, entre otras obras, una *Química Agrícola*. *Química del Suelo*, del francés Gustave André. Se nutre, inicialmente, de traducciones de obras extranjeras, fundamentalmente francesas, pero poco a poco se va abriendo a los autores españoles, como fue el caso de este libro. En esta época, una de las más fecundas y logradas de la vida científica de Huguet del Villar, se encontraba en Madrid trabajando en el Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y era reconocido ya como uno de los máximos especialistas españoles en la ciencia del suelo.

Huguet del Villar pretende con este libro divulgar los conocimientos científicos sobre el suelo, teniendo en cuenta sobre todo las importantes consecuencias prácticas que se podrían derivar del mismo: "Va dirigido al gran público, incluso a las personas directamente interesadas en la explotación del suelo pero que no son técnicos, y más que investigar por sí mismos, lo que necesitan es poder comprender el resultado de la investigación ajena". Insistiendo más sobre este propósito, señala que sus destinatarios más directos serían los agricultores, los gobernantes y los periodistas, unos para entender el significado de los análisis de los suelos, otros para poder solucionar muchos problemas "que se creía con derecho a resolver sin sospechar su naturaleza" y otros, finalmente, los relativos al periodista, para encontrarse más capacitado "para juzgar la obra del gobernante y la necesidad del agricultor".

El primer capítulo, titulado "El suelo y la ciencia del suelo", lo dedica a desarrollar el concepto de "suelo" distinguiendo las diferentes acepciones del vocablo sobre todo en su sentido "geológico", "edafológico" y "agrícola", así como los conceptos de horizontes y substrato. Realiza una detallada descripción de la historia reciente de la ciencia del suelo, abundando en la importancia relativa que tiene su estudio en los diferentes países, señalando "que la región mediterránea es una de las más atrasadas si se exceptúan Palestina,

Egipto y parte de Yugoslavia", por todo lo cual, resalta la importancia que tiene la Subcomisión de Suelos Mediterráneos, propuesta recientemente por el autor del libro. Concluyendo que "en la bibliografía edafológica moderna son escasos y no siempre de la mayor importancia los libros y trabajos de revista publicados en lenguas latinas", por lo que sería de suma importancia la creación en España de un Instituto de Suelos.

El capítulo segundo se titula "Los componentes del suelo" y está dedicado fundamentalmente al estudio de la materia orgánica, las substancias solubles y los residuos insolubles. Al agua le dedicará otro capítulo del libro. Toma como referencia concreta para explicar en detalle los componentes del suelo los análisis de un perfil de la provincia de Santander (St-4), que había reproducido en el capítulo precedente. Describe estas propiedades del suelo destacando el papel de los coloides y la importancia de los fenómenos de adsorción, así como el origen, tipos y características del material húmico. Un aspecto singular de este capítulo lo encontramos cuando trata de las relaciones entre la vegetación y el suelo, señalando su papel de indicador y de diagnóstico para los suelos yesíferos y salinos, muy superior según su criterio a cualquier otro tipo de análisis. Así mismo destaca como método analítico la importancia del contenido en las plantas de los elementos asimilables del suelo.

El tercer capítulo está dedicado al "Análisis Químico". Tiene unas consideraciones previas dedicadas al análisis mineralógico, que señala que solo sirve para conocer "la naturaleza del residuo insoluble". Insiste en uno de sus temas recurrentes: la importancia del análisis de los materiales solubilizados en una determinada concentración de ácido clorhídrico frente al análisis total, que todavía se venía practicando en algunos laboratorios utilizando como ejemplo, una vez más, los datos del suelo de Santander ya citado. Al análisis de los elementos solubles lo denomina "análisis edafológico" y considera que es el único que sirve para conocer el dinamismo del suelo y su poder fertilizante. Describe a continuación los principales métodos de medida de la materia orgánica, el complejo alofánico (o zeolítico) y las sales solubles en agua.

El cuarto capítulo se refiere a "La reacción del suelo y la presión osmótica" y comienza con una amplia descripción del concepto de pH, seguida de los métodos de medida de esta magnitud en el suelo: los colorimétricos y los electroquímicos. Introduce como vocablo nuevo el de los suelos "atopados", para referirse a los tamponizados o amortiguados. Después de una serie de

consideraciones sobre la presencia de caliza en el suelo y el pH, se introduce en uno de sus temas preferidos: la influencia sobre la vegetación, mostrando su interés y conocimientos en estas materias y presentando una serie de datos sobre la distribución de la vegetación en España y la reacción del suelo. Desarrolla los conceptos relativos a la presión osmótica, así como la importancia de esta magnitud en los suelos salinos, insistiendo, nuevamente entre la relación de estos suelos y la vegetación. También define como un nuevo vocablo el de los suelos "picnopiésmicos" para referirse a los que presentan altas presiones osmóticas.

La "Biología del suelo" la trata en el capítulo quinto. Previamente, realiza unas consideraciones sobre las particularidades del análisis microbiológico del suelo que son totalmente vigentes. Critica la utilización del medio de cultivo porque supone unas condiciones muy alejadas de los auténticos hábitats microbiológicos del suelo, proponiendo el propio material edáfico como medio de estudio y así mismo califica de un error frecuente el establecer una relación biunívoca entre especies microbianas y funciones, ya que, exceptuando unos pocos casos, la mayoría de las funciones microbianas del suelo pueden ser realizadas por diferentes organismos. También reconoce que todavía no se ha encontrado una "expresión sintética" de la fertilidad del suelo por la actividad microbiana. Finalmente describe los diferentes métodos y funciones que sirven para determinar la microbiología de los suelos, como son los recuentos de microorganismos, generales y específicos y la determinación de funciones microbianas, como pueden ser la respiración o los potenciales nitrificantes y fijadores de nitrógeno del suelo.

En los capítulos seis y siete habla de "El análisis físico y mecánico" y la "Física del suelo", respectivamente. En el primero, realiza una defensa sin fisuras del método internacional de Atterberg, así como de los procedimientos para su determinación, destacando el significado edáfico del análisis mecánico. En el segundo, introduce el concepto de "arquitectura del suelo" que definiría a partir de la pendiente y profundidad del suelo, así como de su textura, consistencia y estructura. Esta arquitectura "junto con la composición de los materiales, condicionan los fenómenos físicos que en el suelo se verifican, sin los cuales ni los químicos ni los biológicos podían realizarse". En relación con el agua del suelo, recupera los conceptos del ecólogo Clements de *holardía* (agua total del suelo), *cresardía* (agua utilizable por las plantas) y ecardía (agua no utilizable) y describe, sobre todo, los métodos y criterios de Kopecky en relación a la medida y definición de los diferentes tipos de agua retenida en el suelo, así como los de su permeabilidad.

Finalmente, en el capítulo ocho trata de la "Clasificación de suelos", en el que formula sus conocidos principios sobre la clasificación de suelos: que se fundamenten en caracteres intrínsecos del perfil, que se analicen por sus horizontes genéticos y que tengan un carácter universal. Considera ampliamente las diferentes modalidades, progresivas y regresivas, de la acción del tiempo sobre la evolución de los suelos y, aunque el concepto geobotánico de climax es útil para su aplicación a los suelos, estos presentan particularidades que los diferencian de la evolución de las comunidades vegetales. Expone la última versión de su clasificación, detallando las series y fases de los diferentes tipos de suelos y, en lo relativo a los suelos de cultivo o fase "agropédica", considera que en las clasificaciones modernas deben ser incluidos sin distorsiones en el sistema de clasificación, si bien todavía constituyen "ideales en los cuales se trabaja". Finaliza el capítulo con un decálogo sobre qué aspectos de la ciencia del suelo deben ser mejorados en el futuro que podría interpretarse como una conclusión de todo el libro.

El libro El Suelo es, sin duda, el más importante compendio, escrito en lengua castellana, sobre el estado del conocimiento de la ciencia del suelo al comienzo de la década de los años treinta del pasado siglo. Presenta la información más actualizada del momento y al mismo tiempo ofrece una serie de datos y reflexiones sobre los suelos españoles que solo podrían ser aportados por una persona que tiene una amplia experiencia práctica sobre los mismos. Es un libro, concebido como un manual de Edafología para no expertos y quizá (en algún momento lo dice) como texto para un curso sobre esta ciencia. Y es en estos aspectos donde la realidad se aparta bastante de los deseos, porque el contenido de este libro está bastante alejado de la simplicidad y claridad que se le debe pedir a los libros de divulgación y de la organización que deben presentar los de texto. Todo ello debido a la acumulación y elevado nivel de la información aportada y también por su presentación, poco ágil y estructurada, así como por su falta de material gráfico de apoyo.

De todas formas, es un libro que supera a cualquiera de los escritos en España en esta época sobre esta materia. Porque ninguno de ellos tiene ni la información, ni la actualidad, ni reflejan la pasión y el conocimiento directo de los suelos que transmite a los lectores *El suelo* (1931) de Emilio Huguet del Villar. Por otra parte, es un excelente documento sobre las dificultades que tuvo que pasar en nuestro país la Edafología para constituirse en una ciencia consolidada y aceptada por todos.

BIBLIOGRAFÍA

Anónimo. 1934 (?) Institut dels Sòls de Catalunya. Departament de Cultura. Generalitat de Catalunya. Barcelona.

Alcañiz, J. M., Castells, E., Cruañas, R., Danés, R., Felipó, M. T., Porta, J., Sánchez, J., Teixidor, N. 1985. Sòl. In Història Natural dels Països Catalans, 3: 271-451. Barcelona.

Ball, C. R. 1910. Citado por Shaw, C.F. (1927).

Bech, J. 1985. Trets més destacats de l´obra pedológica d´Emili Huguet del Villar. Bull. Inst. Cat. Hist. Nat., 50: 47-60.

Boudy, M. P. 1951. Emilio Huguet del Villar. Notice nécrologique. Soc. Sci. Nat. Marroc. Compt. Rendue Séances Mensuelle nº 2.

Carle, G., Trochain, G. 1937. Classification pédologique des sols. D´aprés E. Huguet del Villar. Rev. botanique appliquée et d´agriculture coloniale, nº 195 : 814-821.

Díaz-Fierros Viqueira, F. 2011. La ciencia del suelo. Historia, concepto y método. Univ. Santiago de Compostela. Santiago de Compostela.

Guerra Delgado, A. 1997 "Historia de la Sociedad Española de Ciencia del Suelo". Edafología. Ed. Especial 50 aniversario. Granada.

Huguet del Villar, E. 1925. Avance geobotánico sobre la pretendida "estepa central". Ibérica. nº 570: 281-283, 577: 297-302, 579: 328-333 y 580: 347-350.

Huguet del Villar, E. 1983. Geo-Edafología. Publ. Eds. Universitat Barcelona. Barcelona.

Lyon, T.L., Buckmann, H.O. and Brady, N.C. The nature and properties of soils; a college text of edaphology. 1922. Macmillan, New York.

Martí Henneberg, J. Emilio Huguet del Villar (1871-1951). 1984. Cincuenta años de lucha por la Ciencia. Publ. Eds. Universitat Barcelona. Barcelona.

Martí Henneeberg, J. 1983. El estado actual de la Edafología. Un trabajo inédito de Huguet del Villar. GEO CRÍTICA, VIII, cc45.

Obermaier, H. 1916. Contribución al estudio del glaciarismo cuaternario de la Sierra de Gredos. Trab. Museo Nac. Ciencias Naturales. Serie Geológica, nº 14. Madrid.

Porta, J., Villanueva, D. 2012. Formación de neologismos en Ciencia del

Suelo. Spanish J. Soil Science. 2, 2: 90-103.

Robinson, G. W. 1969. Los suelos. Su origen, constitución y clasificación. Introducción a la Edafología. Eds. Omega. Barcelona.

Shaw, C.F. 1927. Repport of Committee on soil terminology. Am. Soil Surv. Assoc. Bull., 8: 66-98.

Sunyer Martín, P. 1996. La Configuración de la Ciencia del Suelo en España (1750-1950). Ministerio Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

Villar, Huguet del. Gran Enciclopedia Universal. Ed. Espasa. Madrid, 1923.

TRABAJOS EDAFOLÓGICOS DE EMILIO HUGUET DEL VILLAR DESDE LA FUNDACIÓN DE LA ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE LA CIENCIA DEL SUELO EN ROMA EN 1924

Jaume Porta,
presidente de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo

1925 Avance geobotánico sobre la pretendida "estepa central" de España. Ibérica, N. 570: 281-283; 577: 297-302; 579: 328-333; y 580: 344-350.

1925 La reacción del suelo y su medida por la concentración de iones de hidrógeno. Boletín de Agricultura Técnica y Económica, vol. XIX, núm.201.

1925 Ensayo sobre la reacción del suelo por el método colorimétrico. Boletín de Agricultura Técnica y Económica, vol. XIX, núm.197

1926 La Edafología y la Geobotánica en la vida internacional y en España. Ibérica, 13: 264-266. Separata N. 620.

1927 La reacción del suelo en España. Dirección General de Agricultura y Montes. Servicio de Publicaciones Agrícolas. Ministerio de Agricultura. Madrid, 30 p.

1927 La composición mecánica. Ibérica: 684-687

1927 España en el mapa internacional de los suelos. Instituto Nacional de Investigaciones y Experiencias Agrícolas y Forestales. Ministerio de Agricultura. Madrid, 27 p.

1927 Geobotánica. Editorial Labor. Barcelona, 329 p.

1927 Sur l'emploi du mot "steppe" et ses dérivés en Pédologie. Soil Research, I: 3.

1929 Suelos de España. 1. Serie de estudios 1928.29. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid, 222 p.

1930 Les sols méditerranéens étudiés en espagne. Avec le texte compléte du travail "Suelos de España" publié dans la revue de l'Institut Forestier de Reherches et Experiencies de Madrid, comprenent 80 analyses, 64 photographies, 16 dessins et 28 diagrammes climatiques. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid, 220 p.

1930 Suelo de la Iberia seca o xerófita. Bol. Inst. Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid, vol. III, núm. 6.

1931 El Suelo. Biblioteca Agrícola Salvat. Editorial Salvat. Barcelona, 244 p. Reimpreso en 1936.

1933 La reacción del suelo, su medida y su significación. Dirección General de Agricultura. Servicio de publicaciones Agrícolas. Ministerio de Agricultura. Madrid. 62 p.

1933 Sols alcalins de l'Espagne. Reunión de la Subcomisión de la Región Mediterránea de la Asociación Internacional de la Ciencia del Suelo. Budapest.

1935 El regadío y el estudio de los suelos. V. Congreso Internacional de Riegos. Valladolid,

1937 Los suelos de la Península Luso-Ibérica. Thomas Murby. London, 416 p + grabados. Edición bilingüe en español e inglés. Prefacio y traducción del profesor Gilbert W. Robinson de la Universidad de Bangor.

1937 Carte des Sols de l'Europe 1: 2.000.000 de H. Stremme (parte correspondiente a España y Portugal)

1937 Rapports entre l'eau souterraine et la typologie de sols: gley et croûtes. Bull. Com. Étude des Eaux Souterraines. Rabat.

1938 Mapa de Suelos de la Península Luso-Ibérica en color a escala 1: 1.500.000. Thomas Murby. London.

1938 Les sols du Maroc au point de vue géographique. Revue Géographie Marocaine, Société Géographique du Maroc, XXII, I: 5-21.

1939 Premier apperçu sur les sols de l'Algérie. Bull. Ass. Française pour l'Étude du Sol, V. I.

1939 A new contribution to a universal objective classification of soils. Soil Research. VI, 4/5.

1942 Quelques profils des plaines de l'Habra et du Chélif. Ann. Inst. Agric. Algérie. I, II.

1943 Quelques types de sol du Maroc: hamri dunaire, dess, tirs. La Terre Marocaine: 13-37.

1944 The tirs of Maroc. Soil Science, V. 57.

1944 Première contribution à l'étude des sols du Sahara. Lab. Biol. Sahar. Alger

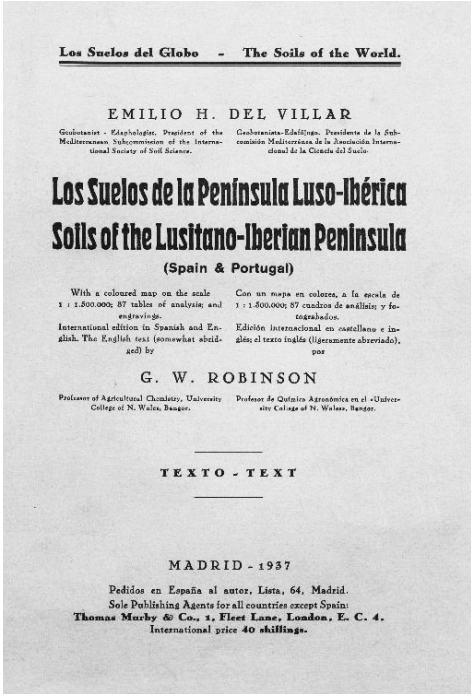
1944 Introduction à l'étude de la végétation hydrosériale et halosériale de Gharb. Comptes Rendus Soc. Sciences Naturelles. Maroc.

1945 Communication sur la misión du Gharn. Comptes Rendus Soc. Sciences Naturelles. Maroc.

1946 Introduction à la pédoécologie de la flore nord-africaine. Comptes Rendus Soc. Sciences Naturelles. Maroc.

1947 Types de sols de l'Afrique du Nord. Fasc. I, 1-136.

1948 Types de sols de l'Afrique du Nord. Fasc. II, 137-288.



Los Suelos del Globo - The Soils of the World.

EMILIO H. DEL VILLAR

Geobotanist - Edaphologist. President of the Mediterranean Subcommission of the International Society of Soil Science.

Geobotanista-Edafólogo. Presidente de la Subcomisión Mediterránea de la Asociación Internacional de la Ciencia del Suelo.

Los Suelos de la Península Luso-Ibérica

Soils of the Lusitano-Iberian Peninsula

(Spain & Portugal)

With a coloured map on the scale 1 : 1.500.000; 87 tables of analysis; and engravings.
International edition in Spanish and English. The English text (somewhat abridged) by

Con un mapa en colores, a la escala de 1 : 1.500.000; 87 cuadros de análisis; y fotograbados.
Edición internacional en castellano e inglés; el texto inglés (ligeramente abreviado), por

G. W. ROBINSON

Professor of Agricultural Chemistry, University College of N. Wales, Bangor.

Profesor de Química Agronómica en el «University College of N. Wales», Bangor.

TEXTO - TEXT

MADRID - 1937

Pedidos en España al autor, Lista, 64, Madrid.
Sole Publishing Agents for all countries except Spain:
Thomas Murby & Co., 1, Fleet Lane, London, E. C. 4.
International price 40 shillings.

1948 Comptes Rendus des travaux pédologiques méditerranéens effectués depuis le Congrès d'Oxford, Conf. Pédologique de Montpellier – Alger en 1947.

1949 Estado de la Edafología en la Zona Española de Marruecos y Tánger. Arch. Estudios Africanos. Madrid, 65- 105.

1949 Tipos de suelos de especial interés en el Norte de Marruecos. D. G. de Marruecos y Colonias Españolas. Madrid.

1950 Contribución al estudio comparado de las tierras negras de Andalucía y Marruecos. Anales del Instituto Español de Edafología y Fisiología Vegetal. Madrid.

1950 [1983] Geo-Edafología. Universidad de Barcelona. Barcelona, 334 p.

Biblioteca Agrícola Salvat

EL SUELO

por

Emilio H. del Villar

Geobotanista-edafólogo en el Instituto Forestal de Investigaciones,
miembro de la Sub-comisión del Mapa Edafológico de Europa
y presidente de la Sub-comisión (en organización) de Suelos de la Región Mediterránea
de la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo

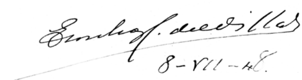
PRIMERA EDICIÓN

BARCELONA

SALVAT EDITORES, S. A.

41-CALLE DE MALLORCA-49

1931



INTRODUCCION

Un labrador que desconoce su suelo es como un comerciante que desconociera el capital con que opera. Análogamente, un gobernante que carece de conocimientos científicos sobre el suelo, la vegetación, la geología, el clima y demás componentes del patrimonio geográfico del Estado, no puede administrarlo más que despreciando el interés público y sirviendo sólo al privado, o en caso de que, por el contrario, su intención sea buena, dando palos de ciego. Lo mismo cabe decir de quienes desde la Prensa, la gerencia de los negocios u otras formas, pueden influir en esa administración o en las ideas a ella relativas.

A suplir, en cierta medida y por lo que toca al *suelo*, estas deficiencias, va encaminado este libro. No es un libro de laboratorio. No está hecho para uso de especialistas, ni para formarlos. De acuerdo con el espíritu de la Biblioteca de que forma parte, va dirigido al gran público, incluso a las personas directamente interesadas en la explotación del suelo, pero que no son técnicos, y más que investigar por sí mismos, lo que necesitan es poder comprender el resultado de la investigación ajena. Un labrador no quedará capacitado con su lectura para hacer por sí mismo análisis completos de su tierra, pero sí para apreciar el significado de los que mande hacer a un laboratorio, la naturaleza de los que le convienen y la utilidad que le puedan reportar. Un gobernante no quedará convertido en un técnico de la Edafología, pero comprenderá la necesidad de someter a esta técnica la solu-

ción de muchos problemas que antes se creía con derecho a resolver sin sospechar su naturaleza. Y un periodista se encontrará más capacitado para juzgar la obra del gobernante y la necesidad del labrador, y no volverá a caer él mismo en el craso error que tanto contribuyó a difundir, hasta hace muy poco tiempo, de que el problema de producción rural española estribaba en la extensión indefinida de las roturaciones, aumentando a la vez la miseria y el desierto.

EL SUELO

CAPÍTULO PRIMERO

EL SUELO Y LA CIENCIA DEL SUELO

Como la sistematización científica es posterior al lenguaje y ha de servirse de éste, la ciencia se encuentra de ordinario con un instrumento de expresión inadecuado. Por esto se ve a menudo obligada a completarlo o modificarlo, creando lo que se llaman «términos técnicos». Pero esta modificación ha de tener un límite, pues la transformación completa del lenguaje haría la expresión de la ciencia absolutamente ininteligible para los no iniciados, y, teniendo así limitada su difusibilidad, no podría llenar todos sus fines sociales. De aquí la necesidad de las ciencias de emplear un lenguaje mixto: en parte técnico, y en parte vulgar. Como éste es, frecuentemente, inadecuado, la significación de los términos ha de variar según el punto de vista científico de cada caso. En tal condición se encuentra la palabra *suelo*, ya de significación muy varia en el lenguaje vulgar.

En el científico es también ambigua, pues la Geología, la Agronomía y la moderna Edafología la emplean en sentidos diferentes. En Geología litológica se habla de suelos graníticos o calizos, por ejemplo, con lo cual se hace relación a una roca que sirve de base o substrato. En Geología dinámica, de suelos sedentarios o de transporte, con lo cual se distingue una masa de terreno sobrepuesta a otra, pero que puede a su vez ser compleja. En Agricultura es corriente diferenciar un suelo y un subsuelo, pero sin precisar estos conceptos. Por ello resulta que

unas veces el llamado suelo es una masa compleja, y otras sólo una parte de la misma masa originariamente uniforme que se continúa en el subsuelo.

La ciencia especial del *suelo*, en el sentido en que aquí lo tomamos, necesita empezar por precisar el significado de esta voz.

Para apreciarlo fijémonos en el proceso de formación de un suelo nuevo. Supongamos que, por erosión de los estratos que la cubrían, asoma a la superficie una determinada extensión de roca caliza, o que, por erupciones de un volcán, una masa de lava se extiende sobre una superficie y se enfría y solidifica. En ambos casos tendremos una *roca*, pero no un *suelo*, desde nuestro punto de vista. Esta roca, que viene a formar la nueva superficie, queda expuesta a los agentes atmosféricos y en general geofísicos que inmediatamente se pondrán a trabajar para atacarla; las diferencias de temperatura, dilatando y contrayendo las varias y desiguales porciones de la masa, causarán en ella grietas y resquebrajaduras; las aguas, así de lluvia como freáticas, cargadas de anhídrido carbónico y otras substancias, harán una labor de disgregación, disolución y arrastre; el viento colaborará en la alteración mecánica y aportará elementos nuevos, etc., etc. El resultado de todo ello será que, al cabo de cierto tiempo, la capa superior de la primitiva roca caliza o volcánica, se habrá alterado así en su estructura como en su composición; la masa se habrá fragmentado o desmenuzado; parte del carbonato de cal habrá desaparecido; la proporción de la arena o arcilla que la roca contenía habrá aumentado; los efectos del agua en esta capa de alteración serán también distintos. En suma se habrá formado un nuevo horizonte encima del residuo del antiguo y único constituído por la roca. Distinguiremos entonces un horizonte superficial y un substrato. Este será el resto de la roca a expensas de la cual se ha formado el horizonte superior, y a la que por eso podremos llamar, en este caso, roca madre.

También podría ocurrir otro caso: que la primitiva roca, por acción intensa del viento o de las aguas, fuese recubierta por materiales de más o menos lejana procedencia, como arenas finas en el primer caso o légamo en el segundo. En este caso la alteración de la primitiva roca sería menor, pues la protegería la nueva capa de recubrimiento. Y también aquí podríamos distinguir, como resultado del proceso, un horizonte superficial y un substrato; pero a éste ya no le podríamos calificar con pro-

piedad de roca madre, puesto que el nuevo horizonte no se había formado a sus expensas.

En estos ejemplos quedan bien puestos en claro los conceptos de *substrato* (entiéndase geológico) y *roca madre* que en adelante habremos de usar con frecuencia. Pero si únicamente fueran agentes geofísicos y geoquímicos como los citados, los que actuasen para producir el horizonte superficial diferenciado del substrato, no saldríamos realmente de los límites de la Geología, y no llegaríamos nunca a tener un verdadero suelo en el sentido que aquí nos interesa. Y esto, aunque no de un modo tan absoluto, es lo que ocurre en los desiertos.

El desierto, en su acepción extremada, es una porción de la superficie terrestre en que falta *la vida*. Este es, pues, el gran factor diferencial. A los agentes físicos y químicos que actúan en la alteración de la roca desnuda originaria, se unen los biológicos: los microorganismos, las plantas macroscópicas, los animales; y de esta actuación resulta, no sólo el aporte de un nuevo elemento, el orgánico, sino una mayor complicación en el fenomenismo físico-químico; pues los agentes actuantes influyen unos en otros: los climáticos en los biológicos, éstos en el proceso químico, éste a su vez en los organismos, todos en la estructura y textura de la masa resultante, éstas y la vida en las condiciones del aire y el agua que con la masa se compenetra, el agua en la vegetación, ésta en la composición química, etcétera, etc. Sólo cuando en la superficie terrestre aparecen una o más capas producto, en menor o mayor grado, de esta complicada actuación, es cuando podemos hablar de SUELO en la acepción que aquí le damos.

Pero, aun así, esta acepción puede ser más o menos lata. En el sentido más estricto de la palabra, el *suelo* propiamente dicho puede definirse como el espesor de la superficie terrestre en cuya formación ha concurrido, con los agentes geofísicoquímicos, la vida. En este sentido el concepto de *suelo* se opone al de *substrato*, que es la roca que yace inmediatamente debajo del suelo *stricto sensu*. A la sucesión completa de niveles ofrecida por el *suelo más el substrato* se le llama *perfil*, concepto que alude a la contemplación de esta serie en un corte vertical. Como en el estudio del suelo es de importancia (y aun esencial) tomar en cuenta el substrato, el conocimiento del suelo exige el del perfil completo, y por esto se aplica también la palabra *suelo*, en un

sentido lato, a todo el perfil. Esto es tanto más práctico y hasta justo, cuanto que la separación entre *suelo stricto sensu* y *substrato*, aunque bien definida en el orden de las ideas, no siempre es brusca y absoluta en la realidad. Unas veces el tránsito es paulatino; muy a menudo los productos lavados del suelo se acumulan sobre el substrato o se mezclan con él y lo modifican en mayor o menor espesor. Cuando faltan los niveles del suelo *stricto sensu*, y el perfil se halla reducido al substrato, el suelo *lato sensu* se califica de simple esqueleto.

Por lo que precede puede comprenderse que las denominaciones científicas de *suelo* stricto sensu, y *substrato*, no han de tomarse en modo alguno como equivalentes de las de *suelo* y *subsuelo* como a menudo suelen usarse en agricultura.

De ordinario, para un agricultor, el suelo es la capa superior a que aplica las labores y abonos; y el subsuelo la que, inmediatamente debajo, deja intacta. Esta distinción puede coincidir alguna vez con la realmente edafológica, pero la mayoría de ellas no coincide. Con frecuencia en el suelo agrícola se revuelven, total o parcialmente, dos horizontes del perfil, y éstos en unos casos pueden ser dos estratos del suelo propiamente dichos, y en otros el suelo y el substrato. Cabe igualmente en lo posible, verbigracia en suelos profundos de aluvión, que el suelo y subsuelo del labrador no sean sino dos niveles de un mismo horizonte del perfil. Por fin, diversas causas, naturales o humanas, dan por resultado la ablación de un mayor o menor espesor superior del perfil, con lo cual afloran en la superficie horizontes inferiores al originariamente superficial; y la capa labrantía, o suelo del labrador, puede así corresponder, según el punto de la superficie, a diferentes niveles del perfil, incluso, por ejemplo, al del substrato, con lo cual resultará aplicado el mismo nombre a realidades diferentes.

Por otra parte, sin embargo, el hombre y su cultivo del campo es también uno de los factores que concurren en la formación o modificación de los suelos. Su actuación en un determinado espesor superficial produce en él determinado efecto y le da un evidente carácter diferencial respecto del espesor que inferiormente deja intacto. La distinción que hace así el labrador entre suelo y subsuelo tiene pues también un valor que, sobre todo para los efectos prácticos, debe tenerse en cuenta. Lo que hay que hacer es no confundir esta diferenciación de niveles

con la de los horizontes del perfil que caracteriza el tipo del suelo. He aquí pues otra acepción más de esta palabra. En gracia de la claridad debería pues aplicársele un epíteto, verbigracia el de «agrícola» cuando se usa en el sentido vulgar del labrador.

En consecuencia deben distinguirse claramente los siguientes conceptos:

Suelo geológico: la roca (compacta o suelta) anterior a la actuación del complejo de factores en que figura la vida.

Suelo agrícola: el nivel afectado por las labores y abonos.

Suelo edafológico stricto sensu: nivel o niveles transformados por el complejo de factores en que figura la vida.

Suelo edafológico lato sensu: la suma del suelo *stricto sensu* más el substrato.

En este libro, siempre que un epíteto no indique expresamente lo contrario, nos referiremos al *suelo edafológico*, y en su sentido lato mientras otra cosa no se precise.

Para tener ahora una idea más clara de la realidad a que esta expresión corresponde, tomemos un ejemplo práctico. Examinemos un perfil.

Entre los numerosos que el autor de este libro lleva estudiados hay uno (fig. 1) tomado al norte de la provincia de Santander, al este de la bahía, cerca de Setién, en una de las pocas comarcas de esa provincia en que abundan los suelos profundos. La vegetación natural de este terreno habría sido probablemente encinar o robledal, pues de ambas especies quedan restos y testigos en las inmediaciones. Pero desde hacía mucho tiempo, y como ha ocurrido en enormes extensiones de esa provincia, el hombre lo había transformado en prado como forma más valiosa de explotación.

En este terreno se abrió una calicata de metro y medio de largo por más de un metro de ancho, que a unos 135 centímetros de profundidad dió con el substrato de roca compacta que, en la fotografía, se ve asomar en el fondo, hacia el medio. El aspecto del corte permitió distinguir desde luego tres horizontes bien definidos y un nivel de transición, total cuatro niveles, que, de arriba a abajo, fueron:

I.—De 40 a 50 centímetros de espesor, de color negruzco algo pardo.

II. — De un espesor medio de 60 centímetros, viscoso, y de color pardo amarillento.

III. — Nivel de transición con límites irregulares y poco definidos, espesor medio de 15 a 30 centímetros, y color y viscosidad parecidos a los del anterior.

IV. — De 135 centímetros de profundidad para abajo; substrato o roca madre, consistente en una arenisca caliza llamada en el país «cayuela», y que aparecía fragmentada en la superficie, en proceso de desintegración y descomposición.

Quizás se pregunte aquí si los 135 centímetros de suelo *stricto sensu* que reposan sobre el substrato, proceden realmente de éste por acción del complejo de factores edafógenos arriba indicado, o resultan de una superposición. Sin negar que a esta formación hayan podido contribuir también los aportes coluviales (1), por una parte estos aportes procederían también de los asomos de la misma roca en puntos más altos o, en mucho menor grado, de otras parecidas más lejanas; y, por otra, en toda la comarca se pueden seguir las diferentes etapas de la formación de este tipo de suelo sobre la roca madre, desde una delgadísima capa, entre asomos esqueléticos (lo que llamamos «etapa oropédica»), como ocurre en el no muy lejano Cabo Mayor, hasta el perfil profundo de la calicata.

De cada uno de los cuatro niveles se tomaron muestras, y de cada muestra se hizo un análisis químico según las normas recomendadas en el último Congreso Internacional de la Ciencia del Suelo, que más adelante se detallarán. Aquí adelantaremos tan sólo que lo esencial del procedimiento consiste en tamizar la muestra a 2 milímetros, y someterla durante una hora y en caliente a la acción del ácido clorhídrico diluído. De este modo los elementos que componen la tierra se dividen en dos partes: unos son descompuestos o disueltos por el ácido, y el complejo resultante queda disuelto en él, separándose por filtración; otros permanecen inatacados y quedan en el filtro. En el filtrado se determinan luego, químicamente, los cuerpos que lo componen procedentes de la muestra. Aparte de este tratamiento, se somete otra muestra igual a desecación a la temperatura de 105°, y la pérdida de peso expresa la *humedad* o agua físicamente retenida por la tierra. La muestra así desecada se calcina, y experimentará una nueva pérdida de peso, que se llama *pérdida por*

(1) Es decir, de arrastre lento superficial.

ignición. Esta pérdida está representada principalmente por la materia orgánica y el agua de composición (1). Pero la materia orgánica se determina también aparte.

Como resultado de este análisis la tierra aparece descompuesta en los siguientes elementos, que referimos, en tantos por ciento, al perfil citado:

CUADRO I

	NIVELES DEL PERFIL St-4			
	I	II	III	IV
Humedad	2,98	3,35	6,87	0,55
Agua química, etc.	4.28	4,40	3,56	4,22
Materia orgánica	5,91	0,90	0,35	0,09
Substancias solubles	14,28	25,43	29,41	79.09
Residuo insoluble	73.25	66,16	59.39	15,35
Total.	100,70	100,24	99,58	99,30

Las substancias solubles y sus proporciones son las siguientes:

CUADRO II

	NIVELES DEL PERFIL St-4			
	I	II	III	IV
Na_2O (Sosa)	0,52	0,68	0,22	0,25
K_2O (Potasa)	0,15	0,11	0,14	0,18
MgO (Magnesia)	0,76	0,60	1,76	6,18
CaO (Cal)	0,62	0,94	1 02	33,90
MnO (Manganesa)	—	0,05	—	0,10
Fe_2O_3 (Sesquióxido de hierro)	3,05	4,43	1,67	0,99
Al_2O_3 (Alúmina)	1,37	5,13	8,46	1,20
SO_3 Sulfúrico)	0,16	0,05	0,16	0,06
P_2O_5 (Fosfórico)	0,06	0,03	0,05	0,06
CO_2 (Carbónico)	—	—	—	32,30
SiO_2 (Silice soluble)	7,39	13,23	15.85	3,84
TiO_2 (Titánico)	0,20	0,18	0,08	0,03
Totales.	14,28	25,43	29,41	79,09

(1) Su significación total se detalla más adelante. No se incluye en esta cuenta el anhídrido carbónico procedente de carbonatos, que tiene otra significación.

La lista de los productos separados por el análisis y las cifras correspondientes de cada uno, aun ignorando todavía la significación de unos y otras, nos enseñan por lo pronto dos cosas, suficientes para substituir desde luego el concepto vulgar de *suelo* por un concepto científico.

La primera es que, no solamente el suelo *stricto sensu* puede diferenciarse grandemente del substrato, sino también los diferentes horizontes del suelo *stricto sensu* entre sí. Así, mientras el suelo propiamente dicho, tomado en conjunto, carece de carbónico y sólo contiene muy pequeñas proporciones de cal y de magnesia, el substrato suma en sólo estas tres substancias más del 72 por 100. Y, por otra parte, mientras la materia orgánica alcanza en el horizonte I a cerca del 6 por 100, en el II desciende bruscamente a menos del 1, y en el III y el IV se reduce a cantidades insignificantes. En cambio ciertas substancias como la alúmina y la sílice soluble se encuentran en menor proporción en el horizonte I, y se acumulan en el II y, sobre todo, el III; y el hierro a su vez disminuye de proporción en este último. La humedad sigue una distribución paralela a la de la alúmina y sílice soluble. El residuo insoluble va disminuyendo en proporción de arriba hacia la profundidad de las capas edáficas, mientras la proporción total de substancias solubles aumenta. Finalmente, aunque siempre en pequeña proporción, las bases alcalinas y alcalinotérreas y el fosfórico, elementos de tanta importancia para la vegetación, ofrecen diferentes proporciones en cada horizonte.

A la luz de estos hechos se comprenderá cuán insuficiente y endeble base para juzgar y clasificar un suelo puede ofrecer el conocimiento de una sola muestra, tomada a ojo de buen cubero, en un nivel cualquiera y único (aunque éste sea de la capa arable), como suelen tomarla los labradores, que la envían así a analizar a las estaciones agronómicas, sin preocuparse del perfil total, sin indicar nunca, ni conocer casi nunca, la naturaleza del substrato, la profundidad del perfil ni otros detalles necesarios.

La segunda enseñanza general que los cuadros arrojan es que cada horizonte del suelo es un compuesto de una gran complejidad, cuyo conocimiento completo exige un estudio largo y delicado. Pero de esta complejidad los cuadros dan aún una idea incompleta. Aun desde el punto de vista puramente químico, hay en el suelo otras substancias que deben determinarse

aparte. Una de ellas, y de capital importancia para la vida vegetal, es el nitrógeno, que puede hallarse ya formando parte de la materia orgánica, ya en forma de compuesto mineral, verbigracia de nitrato. Otras son otras sales igualmente muy solubles en el agua, como los cloruros, los sulfatos de magnesio y de sodio, y el carbonato de sodio, que, precisamente por razón de su solubilidad, ejercen en los suelos donde se encuentran una influencia sumamente enérgica en la vegetación, hasta el punto de expulsar la flora general de la región y no admitir sino determinadas especies, resistentes a este medio, e impedir análogamente la mayor parte de las explotaciones agrícolas y hasta su totalidad (saladares). A la complejidad de la composición química hay que añadir las diferencias de textura y estructura que los suelos pueden ofrecer desde el punto de vista mecánico, las que a su vez influyen en la aereación de la tierra y en su comportamiento respecto del agua. Y por fin, a los elementos químicos y mecánicos, hay que añadir los biológicos, muy especialmente los microorganismos, cuya distribución en los diferentes niveles es también varia, y que a su vez influyen en el medio físico-químico, como este medio en ellos, y uno y otros en la vegetación macroscópica.

El conocimiento de un suelo exige pues:

1.° La distinción de sus diversos horizontes.

2.° El análisis químico, físico y biológico de cada uno.

Pero un suelo no es una entidad estática. Como todas las entidades naturales, está sujeto a una evolución. Los diferentes horizontes han tenido un origen, y desde que empezaron a distinguirse actuaron unos sobre otros, y siguen y seguirán actuando indefinidamente. El estudio de este dinamismo, que en último caso es el resultado sintético del dinamismo especial de cada componente de cada horizonte, es el que puede conducirnos a descubrir la génesis del suelo, completando así nuestro conocimiento de él. De todo ello resultará la distinción de diferentes tipos de suelos, y de variadas subdivisiones en cada tipo, ya como modalidades paralelas, ya como etapas sucesivas de la evolución.

Por fin, cada tipo o subdivisión de tipo tiene su correspondiente distribución en la superficie terrestre, obedeciendo a leyes ya geográficas generales, ya locales o ecológicas. Hay pues una geografía de los suelos.

Y, pasando del estudio especulativo a la aplicación práctica, aparecen dos grandes problemas: los de la aplicación del conocimiento del suelo a su explotación económica, y a su distribución racional o más conveniente entre las distintas explotaciones: agricultura, monte, pastoreo, etc.

No se puede llegar con seguridad a las aplicaciones prácticas, si no se parte de un profundo conocimiento especulativo. La humanidad ha procedido a la inversa. La explotación (directa o indirecta) del suelo ha sido para ella una necesidad primordial y por lo tanto se remonta a los primeros tiempos. El conocimiento científico es un producto de la cultura moderna y que sólo afecta a una mínima parte de la humanidad, que en la mayoría de los casos no es ni siquiera la que tiene el poder de dirigir los destinos de la colectividad total. La necesidad de la civilización consiste en invertir los términos y que se empiece a enmendar la obra inconsciente del pasado.

Por lo expuesto puede verse que la Ciencia del Suelo y sus aplicaciones prácticas constituyen una vasta y compleja disciplina cuyo objeto principia en la calicata abierta en un campo y termina en el arte del gobierno. Su conocimiento total supone un sistema de estudios no menos largo ni numeroso que la carrera de médico o de ingeniero civil.

Sin embargo, sólo en tiempos muy recientes se ha constituído en disciplina autónoma. En las lenguas germánicas se le dan denominaciones equivalentes a la expresión antes citada: *Soil Science* en inglés, *Bodenkunde* en alemán (1). En las lenguas latinas se ha acudido a la etimología griega para sintetizar la denominación en una sola palabra. El que esto escribe propuso para el castellano la voz *Edafología*, hoy adoptada general y hasta oficialmente, del griego ἔδαφος, suelo. Esta denominación tenía en su abono el uso que desde largo tiempo atrás venía haciéndose en Geobotánica y en biología de los derivados de ἔδαφος, verbigracia el factor *edáfico*. Sin embargo en la mayoría de los idiomas extranjeros que adoptan la etimología griega, han prevalecido las formas equivalentes de *Pedología (Pédologie* en francés, etc.). Esta voz tiene el mismo valor etimológico; pues se deriva de πέδον, que significa igualmente suelo. Pero

(1) *Boden*, suelo; *Kunde*, conocimiento.

ofrece la ambigüedad de confundirse fonéticamente, y en casos hasta en la ortografía, con el derivado análogo de παῖς, παιδός, niño, ya que el diptongo griego αι, pasó como *æ* al latín y como *e* a las lenguas neolatinas *(Pedología,* más correctamente que *Paidología,* ciencia del niño). Por eso no hemos tenido escrúpulo en utilizar también esta etimología, para formar derivados, que resultan de este modo más breves y eufónicos, como los epítetos de oropédico, agropédico, etc., que en su lugar se explicarán.

En los comienzos de su individualización la Ciencia del Suelo se denominó Agrogeología, y su cultivo osciló entre los geólogos y los agrónomos; lo que, multiplicando los puntos de vista, favoreció sin duda sus progresos.

Los agrogeólogos de diferentes países se reunieron por primera vez en congreso internacional en Budapest, el año 1909, y allí convinieron en la necesidad de una inteligencia internacional permanente para uniformar los medios de investigación, pues empleándose en cada país métodos diferentes, los resultados no podían ser comparables entre sí. En un segundo congreso, reunido el año siguiente en Estocolmo, se nombraron comisiones de actuación permanente, y se creó una revista, publicada en lengua alemana, *Internationale Mitteilungen für Bodenkunde* (Comunicaciones Internacionales de la Ciencia del Suelo), cuya colección forma un valiosísimo archivo de investigaciones en esta materia.

El resultado de este primer período de colaboración debía ser base de un tercer congreso cuya celebración se había fijado para 1914 en San Petersburgo (hoy Leningrad). Pero la guerra europea vino a impedirlo y a retrasar ocho años la obra. El tercer congreso vino a celebrarse en Praga el año 1922, y en él se reorganizaron las Comisiones. El cuarto se reunió en 1924 en Roma, bajo los auspicios del Instituto Internacional de Agricultura, y en él se acordó constituir la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo, y crear una nueva revista, editada a la vez en cinco idiomas —alemán, inglés, francés, español e italiano—, como órgano de la nueva entidad, en substitución de las antiguas *Mitteilungen,* y que tomó también el nombre de «Comunicaciones».

La nueva entidad internacional está dividida en Comisiones, formadas por los más eminentes edafólogos de Europa y Amé-

rica, que se han repartido el vasto campo de la nueva ciencia. Estas Comisiones son: una para el estudio mecánico y físico del suelo; otra para su estudio químico; otra para su estudio bacteriológico y bioquímico; otra para el de la fertilidad; otra para el de la nomenclatura, clasificación y cartografía de los suelos; y otra para la aplicación de la Edafología a la técnica agrícola. Como todavía el campo resultaba demasiado vasto para cada comisión, y ciertos puntos ofrecían un interés especial, de las comisiones se destacaron subcomisiones, que con el tiempo se han ido multiplicando. Al comenzarse a escribir este libro funcionan una subcomisión especial para el estudio de los suelos alcalinos, otra para los suelos forestales, otra para los suelos de turbera, y cinco más para la cartografía de los suelos de Europa, América, Asia, Africa y Australia respectivamente, a las cuales se había acordado agregar (en una reunión de la V Comisión en Danzig, y a propuesta del autor de este libro) una sexta subcomisión para el estudio especial de los suelos del Mediterráneo.

Entre la valiosísima labor de estos varios organismos figuran, con especial importancia, la elaboración de métodos internacionales para el análisis químico y el mecánico de los suelos, así como la publicación de innumerables trabajos sobre clasificación y cartografía de éstos, que afecta ya a una extensa porción de la superficie terrestre, no sólo de Europa y Norte-América, sino también de otros continentes. Así en Rusia, donde nació esta rama especial de la ciencia edafológica, están ya cartografiados los suelos de toda la actual U. R. S. S. y del antiguo imperio; y Marbut, de los Estados Unidos (donde la labor está sólo pendiente de publicación), ha dado a luz un avance de conjunto de los suelos de toda Africa, y ha comenzado el mismo estudio en Sud-América.

La región mediterránea es en cambio una de las más atrasadas, si se exceptúan Palestina, Egipto y parte de Yugoslavia. Esto y ciertas dificultades especiales que ofrece, más que por la modalidad especial de su naturaleza, por falta en ella de hombres de estudio especializados, es lo que movió al autor a proponer para ella el funcionamiento de una subcomisión especial. La descripción tipológica de los suelos de la Península Ibérica ha empezado a publicarse, en 1929, en la revista del Instituto Forestal de Investigaciones.

En 1927 la Sociedad inauguró una nueva serie de reuniones internacionales periódicas, directamente relacionadas con su funcionamiento y con el título de Congreso Internacional de la Ciencia del Suelo. El primero se reunió en Wáshington en el año citado, y, a sus sesiones, se añadió una gran excursión de estudio edafológico a través del territorio de los Estados Unidos y del Canadá, desde el Atlántico al Pacífico. El segundo debe celebrarse en Leningrad y en Moscov durante el verano de 1928, y será igualmente acompañado de una análoga excursión a través del territorio ruso hasta el Cáucaso.

A partir del Congreso de Wáshington se ha dado una nueva forma a las publicaciones centrales de la Sociedad. Las cinco ediciones, en otros tantos idiomas, de las «Comunicaciones» fundadas en 1924, tenían un valor muy desigual. Se había encargado de ellas el Instituto de Agricultura de Roma, que carecía de organización adecuada. La edición española, verbigracia, no puede recomendarse a nadie, pues muchas de sus recensiones y traducción de artículos originales, resultan sin sentido por no haberse encargado a personal competente. Desde 1927 las publicaciones se editan por la misma Sociedad Internacional, bajo la dirección del Dr. Schucht, y han vuelto a recuperar el valor científico de las antiguas *Mitteilungen*. Estas publicaciones son dos y están redactadas en tres idiomas, inglés, alemán y francés, en una sola edición. La una, con el título de *Proceedings*, se dedica a dar cuenta de la actuación de la Sociedad Internacional y de la bibliografía edafológica. La otra, con el título de *Soil Research*, a la publicación de trabajos originales. A esto se añaden las publicaciones especiales de las diferentes comisiones y subcomisiones, todas valiosísimas.

Aparte de las publicaciones de la Sociedad Internacional, la Ciencia del Suelo cuenta con una literatura riquísima, que sigue cada día en aumento. En ella figuran numerosas revistas, ya exclusivas de la materia, como *Soil Science*, de los Estados Unidos, que lleva ya publicados veintisiete volúmenes, ya abarcándola como parte de su campo como la *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde*, bibliotecas sistemáticas e infinidad de obras aisladas.

Reunir una biblioteca completa de edafología y poder mantenerla al día, es ya una empresa que exige amplitud de medios, y cada vez será más difícil, no sólo por la creciente

producción bibliográfica, sino porque las obras publicadas se van agotando. Pero la base principal de información sobre esta materia la constituye la triple serie de las citadas *Mitteilungen*, *Comunicaciones* y *Proceedings-Soil Research*, porque en ellas se encuentra la bibliografía completa de todos los demás trabajos publicados ya en libro, ya en revistas.

La Ciencia del Suelo es objeto en muchos centros docentes de diversos países, de una cátedra especial y, además de cultivarse en innumerables centros agrícolas, forestales y geológicos, cuenta también con instituciones exclusivamente consagradas a ella, ya formando parte autónoma de otras, ya independientes. De ello puede formarse una idea quien repase en las *Comunicaciones* de la Sociedad Internacional, la lista de sus miembros en que se cita la institución en que cada uno presta sus servicios.

Desgraciadamente, en la bibliografía edafológica moderna, son escasos y no siempre de la mayor importancia los libros y trabajos de revista publicados en lenguas latinas, lo que indica una lamentable inferioridad científica de la cual urge esforzarse en salir. Quien no conozca el inglés y el alemán es absolutamente imposible que posea una competencia al día en esta materia. Tampoco es en los países de lengua latina donde abundan las instituciones consagradas a su cultivo. En España la creación de un Instituto de Suelos, organizado con amplitud de medios y presidido por un criterio rigurosamente científico (y no burocrático, que malogra tantas instituciones), es una necesidad cultural de las más elementales.

CAPÍTULO II

LOS COMPONENTES DEL SUELO

Volvamos a echar una ojeada al primer cuadro de análisis del perfil St-4.

El agua es de una importancia capital para los efectos de suelo en la vegetación. Sin ella no habría vegetación, ni por lo tanto suelo. Por eso, a su actuación y diversas formas de presencia en la tierra, necesitamos dedicar un capítulo especial Pero este capítulo se inserta más adelante porque, para comprender su contenido, es necesario tener antes idea de la composición química y mecánica de los horizontes pedológicos.

Prescindiendo del agua, el cuadro I nos muestra tres grupos de componentes: materia orgánica, substancias solubles y residuos insolubles.

La materia orgánica procede de los restos muertos de la misma vegetación que crece en el suelo (hojas, raíces, tallos, etcétera) y de los restos análogos de los animales y sus deyecciones. Estos residuos orgánicos son objeto de un proceso químico o bioquímico de descomposición, condicionado por la humedad, la temperatura, el oxígeno del aire y la intervención de fermentos o enzimas, y del que mediante reacciones, hidrólisis y oxidaciones, resultan liberación de gases, como anhídrido carbónico, hidrógeno sulfurado, amoníaco, metano, etc., y también agua, y, como residuo en el terreno, un complejo coloide de color negruzco a que se da el nombre de *materia negra* (de Grandeau) o *humus stricto sensu*. Los químicos han distinguido en este complejo ácidos que han llamado *húmicos*, y, como resultado de reacción con elementos básicos, *humatos*. Pero el complejo es inestable, varía según las condiciones y etapa de su evolución, y no es susceptible de expresión en una fórmula fija y rigurosa. Como el proceso de transformación de los resi-

duos orgánicos en humus puede ser más o menos lento, según las condiciones del medio en cuanto a los factores expresados, hay también estados intermedios en que los residuos han empezado ya a transformarse, pero sin perder aún del todo su aspecto, ni llegar por lo tanto al fin del proceso. En este caso se tiene, por oposición al *humus elaborado,* un *humus bruto (Roh-humus* de los autores alemanes).

Por substancias solubles se entienden en el cuadro, y en el método de análisis correspondiente (que se explica en el capítulo próximo), las que lo son en una solución moderada, verbigracia al 20 por 100, de ácido clorhídrico (HCl). En los niveles del perfil de que se trata no hay prácticamente substancias solubles en el agua solamente. Pero en otros terrenos, verbigracia en ciertos suelos de Aragón o de la Mancha, sí las hay, y en proporciones relativamente grandes. Estas substancias son principalmente, en España, el cloruro de sodio o sal común, los sulfatos de sodio o de magnesio, más localmente nitratos, y en otros países, como en Hungría o el oeste de los Estados Unidos, también el carbonato de sodio. Aun figuran en la lista otras substancias, como el cloruro de magnesio, que suele acompañar en proporciones mínimas al de sodio. Todas estas substancias solubles son químicamente sales; por eso los suelos que las contienen se llaman *salinos.* También se califican de *alcalinos,* porque los cationes o elementos básicos de estas sales son el sodio (principalmente) y el potasio (en los nitratos), metales alcalinos, o el magnesio, alcalinotérreo. Estas sales deben considerarse aparte de las otras substancias que son solubles en el ácido clorhídrico (o atacables por él), pero no en el agua.

Pero hay aún substancias (el yeso, que es un sulfato de calcio) que ocupan un lugar intermedio, pues, sin ser insolubles en el agua, sólo se disuelven en ella en proporciones muy pequeñas. El yeso necesita cuatrocientas y tantas veces su peso de agua para disolverse, variando la proporción con la temperatura. Su presencia constituye pues una perturbación para los análisis. Porque, si empezamos por lavar la muestra con agua destilada para determinar primero, en la solución, la proporción de los iones de sales solubles, con éstas se separará también una pequeña parte del yeso o sulfato de calcio, y el resto (la mayor parte) quedará en la muestra lavada. En España y otros

países de clima seco, los suelos yesosos se hallan muy extendidos, y por lo tanto importa mucho en ellos dosificar el yeso en cuenta aparte.

El carbonato de calcio o caliza no es del todo insoluble, pero sólo se disuelve en una proporción infinitesimal, que prácticamente se puede despreciar. Mil partes de agua, libre de anhídrido carbónico, disuelven sólo 0,03 de caliza, y en cambio de 2 a 2,5 de yeso. Para los efectos prácticos calificaremos al yeso de semisoluble y agruparemos la caliza con las substancias insolubles.

Si nos fijamos en las cifras del cuadro II veremos que en los tres primeros horizontes no hay carbónico (CO_2) y por lo tanto en las muestras originarias no había carbonato de cal. La cal misma (CaO) sólo figura allí en cantidades muy pequeñas. En cambio en la cuarta columna dichos elementos figuran con cifras bruscamente elevadas, siendo también bastante alta la de la magnesia (MgO). Esto quiere decir que en la muestra había sobre todo carbonato de calcio y también seguramente de magnesio.

Esta cuarta muestra corresponde a la *roca madre,* que es una roca viva; mientras que las tres primeras corresponden a estratos terrificados, constitutivos del *suelo stricto sensu.* El suelo está lavado de carbonatos, como suele ocurrir en los climas lluviosos: los carbonatos de calcio y magnesio pueden ser disueltos y arrastrados por las aguas, mediante la gran cantidad y duración del tiempo en que actúan, porque su poder disolvente aumenta al cargarse de anhídrido carbónico y ácidos del suelo, y porque además intervienen otros fenómenos físicoquímicos.

Ahora se comprenderá por qué el residuo insoluble aparece en el cuadro I con una cifra (15,35 por 100) mucho menor para el horizonte de la roca viva que para los de suelo ya hecho, que es lo contrario de lo que a primera vista pudiera parecer natural. Es que se trata de una roca viva caliza. Distribuyendo el total de CO_2 entre la CaO y la MgO, proporcionalmente (1), resultan teóricamente en el horizonte IV, 12,51 por 100 de carbonato de magnesio y 58,60 de carbonato de calcio, total 71,11 por 100 de carbonatos, quedando un exceso de 0,20 de magnesia y 1,07 de cal. Deducida pues la parte de caliza magnesífera, el resto de

(1) 56,03 partes de CaO + 43,97 de CO_2 forman 100 partes de $CaCO_3$ (carbonato de calcio).
47,82 de MgO + 52,18 de CO_2 forman 100 de $MgCO_3$ (carbonato de magnesio).

substancias solubles, comparable a los totales respectivos de los tres horizontes superiores, se reduce, para el horizonte IV, de 79,09 a 8,06 por 100, cifra menor que las respectivas de los horizontes pedológicos. Aun esta cifra es más alta de la que corresponde a la roca viva; pues en el horizonte figuran también porciones de suelo propiamente dicho, formado en la superficie de la roca y en sus grietas; y además parte de los elementos que aparecen en el análisis corresponden también a la composición de la roca viva. Esto se podría demostrar tomando una porción de ésta y sometiéndola a un análisis total. La diferencia, o sea los elementos propiamente pedológicos, sumarían entonces una cantidad bastante menor del 8,06.

En oposición a lo que ocurre en este horizonte IV, la mayor parte de los elementos solubles en ácido clorhídrico está integrada en los tres horizontes superiores por tres substancias: la sílice soluble (SiO_2), la alúmina (Al_2O_3) y el óxido de hierro, expresado en sesquióxido (Fe_2O_3), porque la combinación de óxido ferroso (FeO), si alguna vez se presenta en el terreno, es muy inestable. De estas tres substancias el óxido de hierro es un concomitante frecuente (a él se deben las coloraciones rojas y amarillentas de muchas tierras), pero no esencial. Las fundamentales son la sílice y la alúmina. Estas substancias proceden de unos silicatos hidratados especiales, cuyas características son la solubilidad en el ácido clorhídrico y su condición coloide. Por ellas se diferencian radicalmente de los demás silicatos que son insolubles en el ácido clorhídrico y cristalinos. En el lenguaje corriente se ha generalizado para dichos silicatos solubles el nombre de *zeolitas* o compuestos zeolíticos. Esta denominación no es correcta, porque el nombre de zeolitas se había aplicado ya en Mineralogía a un grupo de cuerpos que precisamente suelen presentarse cristalizados (1). Más correcto sería llamarles, con Harrassowitz, *alófanos*, o, con Stremme, *alofanoides*. Estos elementos son los que dan sus caracteres plásticos a la arcilla, y ésta es la significación que en los análisis del suelo tienen las cifras correspondientes a SiO_2 y a Al_2O_3, y más o menos a Fe_2O_3.

También la palabra *arcilla* suele usarse en sentidos diferentes y necesita aclaración. Su concepto se involucra además con el de caolín, del que suele decirse que «es la arcilla más pura».

(1) Vig. la analcima, la estilbita, la hermotoma, etc.

En este sentido lato la voz «arcilla» tiene una significación químicomineralógica: equivale a «silicato de alúmina hidratado». Hablando de suelos, la denominación de *arcilla* se entiende aplicada a una tierra fina (o fracción fina de una tierra) con una proporción importante de alófano, y por lo tanto de coloides, que imprimen a la masa total un mayor o menor grado de plasticidad. Pero si especificamos más, diciendo *arcilla coloide*, el sentido riguroso de esta expresión se refiere exclusivamente a la parte coloide de dicha tierra fina; y en este caso *arcilla* es sinónimo de *alófano*, o complejo alofánico (o *zeolítico* si se admite esta denominación). Pero, en este caso, la «arcilla» excluye al caolín, pues el caolín es un mineral *cristalino*, que sólo se disuelve por el ácido sulfúrico.

Los *alófanos* (o *zeolitas* del lenguaje generalizado) son pues silicatos de alúmina hidratados, de los que no se conocen formas macroscópicas cristalinas, solubles en ácido clorhídrico, y cuya substancia se presenta en un grado de dispersión de orden coloide. Como en el caso del humus, su composición es también variable. La sílice y la alúmina son sus componentes esenciales, y a ellos se unen, además del óxido de hierro en la misma función que la alúmina, otros elementos en proporciones mucho menores. La expresión más exacta que se le puede aplicar es, análogamente, la de *complejo*. Y este complejo coloide puede calificarse de *sialítico*, del nombre de sus componentes esenciales: sílice y ALÚMINA; y consiguientemente los horizontes en que figure como elemento esencial o característico, y los suelos caracterizados por tales horizontes. Desde este punto de vista al, concepto de *suelo sialítico* se opone el de suelo *alítico*, es decir aquel cuyo elemento característico es la ALÚMINA, sin sílice soluble.

Hagamos aquí un paréntesis y observemos que, mediante el método analítico que seguimos, aunque aun estemos en los comienzos del curso que representa este libro, ya hemos aprendido a comprender y calificar la naturaleza de este suelo (St-4) que hemos tomado como ejemplo. Es un suelo sialítico. rico en humus, formado, por descalcificación, sobre un substrato calizo. La cal ha sido lavada; el humus se acumula sobre todo en el horizonte superior, donde se forma a expensas de los residuos de la vegetación; pero parte de él es arrastrado hacia abajo con la mayoría de los coloides sialíticos, que se acumulan en los hori-

zontes II y III; mientras que en el IV aparece la roca madre, con una composición totalmente distinta. Este tipo de suelo se halla muy extendido por la región húmeda del norte de España; continuando por Francia y el resto de la Europa media, y reapareciendo en los demás países de condiciones análogas.

Retengamos, por lo pronto, que la significación de los productos sialíticos, coloides, es totalmente distinta de la que tienen los haloides, cristaloides, como en este caso la caliza, que de ellos es el de importancia más general.

Y observemos, dejando aun aparte el *residuo insoluble*, que en el resto de los componentes del suelo, con el complejo sialítico y el húmico podemos formar un doble *complejo húmico-alofánico (humus-zeolitas* en el lenguaje corriente), *coloide*, en oposición a la suma de elementos minerales *cristaloides*.

Ahora tratemos de completar el conocimiento del suelo tomando en cuenta las demás substancias que en los tres primeros horizontes figuran en proporciones muy pequeñas. Son elementos integrantes de sales: bases como la sosa, la potasa, la magnesia, la cal; anhídridos como el sulfúrico y el fosfórico. La manganesa y el titánico tienen en general escasa importancia. Estas substancias, o la mayoría de ellas, se hallan en íntima relación con el complejo coloide, ya, en parte, como combinación, ya sobre todo en estado de adsorción.

El estado coloide es el de máxima dispersión (es decir, de máxima división mecánica) de la materia, más allá del cual se pasa al de las verdaderas soluciones o moléculas cristaloides. Sus partículas pueden difundirse a través de un flúido y entonces el estado coloide se denomina *sol*. Y pueden también reunirse por íntima coherencia en una masa viscosa, que se llama *gel*. El tránsito de sol a gel es lo que se llama coagulación, que es así una reducción de la dispersión. El diámetro máximo de las partículas de un coloide en estado de sol, varía entre un micrón y una décima de micrón, aproximándose más bien a ésta y oscilando por lo general alrededor de dos décimas de micrón (0,2 μ) (1). El diámetro mínimo se ha calculado en 0,001 $\mu = 1\,\mu\mu$. Por encima del diámetro máximo se pasa a las partículas de las suspensiones de substancias no coloides. Por debajo del diámetro

(1) El micrón es una milésima de milímetro y se representa por la letra griega μ (mu). El micromicrón es una milésima de micrón, y se representa por $\mu\mu$.

mínimo se pasa a las moléculas de las verdaderas soluciones, que corresponden a las substancias cristaloides. Los últimos grados de la dispersión, en serie creciente, los constituye la escala: suspensiones-hidrosoles-soluciones.

La *adsorción* define la concentración de una substancia dispersa sobre una superficie (sólida, líquida o gaseosa) que la retiene. De un modo general la adsorción es una propiedad general de las superficies, pero sólo adquiere importancia cuando se manifiesta con cierto grado de intensidad. Esta es tanto mayor, cuanto mayor es la superficie o más pequeñas son las partículas. Por esto adquiere sus proporciones máximas en los coloides, en que llegan al máximo la dispersión y consiguientemente la proporción de superficie.

En virtud de esta fuerza de adsorción, a los coloides del suelo (complejos húmico y sialítico) se incorporan elementos (kationes o aniones) de los compuestos haloides (electrolíticos) del suelo disociador, y que figuran en los resultados de nuestro análisis en las cifras de Na_2O, K_2O, CaO, MgO, SO_3, P_2O_5, etc. Y a su vez, en presencia de otros nuevos electrolitos, reaccionan estableciendo con ellos un intercambio de elementos adsorbidos. Así es como los elementos electrolíticos del suelo que intervienen en la nutrición de las plantas, pasan del estado inerte, lapídeo, al de actividad pedológica, y los complejos coloides les sirven de vehículo. Tal es la naturaleza del fenómeno llamado «cambio de bases», del que tanto se habla hoy en la Ciencia del Suelo.

Esta íntima unión de los coloides sialíticos con las bases electrolíticas llevó a algunos químicos, como Gans, a considerar el conjunto o complejo total, como un compuesto químico en que la alúmina desempeñaba, al par de la sílice, función ácida, y denominó a estos complejos alúmino-silicatos. Pero hoy puede considerarse demostrado que no se trata de fenómenos de verdadera combinación en sentido químico, sino de adsorción (1).

Esta adsorción se ejerce de un modo electivo, pues cada ion muestra una energía de fijación propia. Así, en el complejo sialítico esta energía se muestra bien para el anión fosfórico, pero no para el sulfúrico ni el cloro. En cuanto a las bases, «la potasa

(1) Véase verbigracia a este respecto: ALEXIUS A. J. VON 'SIGMOND: *Ueber die Charakterisierung des Bodens auf Grund des salzsäuren Bodenauszuges und des Basenaustauschvermögens*, Int. Mitteilungen für Bodenkunde, 1915.

y el amoníaco se fijan en cantidades sensiblemente equivalentes, en igualdad de condiciones; la cal un poco menos, y la sosa menos aún. Cuando se aplica al suelo silvinita, la sosa se fija después que la potasa y se desplaza antes». En el desplazamiento del calcio por los cloruros alcalinos en exceso, «las últimas fracciones del calcio de cambio» son, en virtud de las leyes de la adsorción, «muy difíciles de extraer». En cambio, en las soluciones que circulan en el suelo, el exceso de cal no opone sino una débil resistencia a la fijación de cantidades relativamente pequeñas de potasio y amónico empleadas como abono, por los complejos coloides relativamente pobres en estos elementos y ricos en calcio. Y esto ocurre, naturalmente, en tanta mayor medida, cuanto más rico es el suelo en el complejo adsorbente». Análogamente «de dos tierras igualmente ricas en potasa de cambio, la que la cederá más fácilmente a las raíces de las plantas será la menos rica en coloides», pues en ella es donde los coloides estarán más saturados o más próximos a la saturación (1).

El fenómeno de los intercambios de adsorción resulta pues de un gran interés práctico, puesto que se relaciona con el problema de la aplicación de los abonos. Así se explica que, abonado el suelo con una substancia, se encuentre después, al hacer el análisis, otra distinta. De ello se deduce también la necesidad, no sólo científica, sino práctica, de que los análisis químicos de las tierras se hagan *completos*, figurando en ellos, no sólo las cifras relativas a las substancias llamadas fertilizantes, sino las de la sílice soluble, alúmina, sesquióxido de hierro y demás que figuran en nuestro Cuadro II.

Como las cifras que figuran para bases y anhídridos en los resultados del análisis del extracto clorhídrico, pueden englobar porciones de distinta significación, verbigracia CaO en estado de adsorción y CaO en estado de carbonato, si los hay en el suelo, la determinación de las bases de cambio efectivas se hace aparte por otros métodos (2).

Estas determinaciones suministran los elementos para hallar

(1) Las frases entrecomilladas de este párrafo están tomadas del extracto (publicado en «Soil Research», 1928, n.º 1), de la *Contribution à l'étude de l' argile colloïdale*, por A. Demolon y G. Barbier (Annales de la Science Agronomique, 1927, sept.-oct.).

(2) Pueden verse en «Internationale Mitteilungen für Bodenkunde», 1922; y en *Transactions of the Second Commission of the Int. Soc. of Soil Science*, vol. B. Groningen, 1927.

el valor numérico de ciertos índices, que expresan las condiciones o carácter del suelo con relación a la adsorción y cambio de bases, y que se designan por letras especiales.

Estos índices son los siguientes:

S = cantidad de bases (Ca, Mg, K, Na) que el complejo coloide del suelo retiene de hecho en estado de adsorción.

T = capacidad de adsorción, o cantidad total de bases que el suelo puede por adsorción fijar.

V = grado de saturación del suelo, es decir: relación centesimal de S a T. De modo que $V = \frac{100 \times S}{T}$

S (humus) = miligramos equivalentes de bases de cambio por 100 gramos de humus. Este valor se halla multiplicando S por 100, y dividiendo por la proporción centesimal de humus en el suelo.

K (humus) = gramos de cal de cambio por 100 gramos de humus.

K (arcilla) = análogo porcentaje de cal en el complejo coloide sialítico.

Los valores de S y T (y por lo tanto de T—S) se expresan en miligramos por 100 gramos de tierra seca a 105° C.

Para un cálculo aproximado bastará determinar directamente: el valor S del calcio, admitiendo que éste representa el 80 por ciento del valor total de los cationes (Na + K + Ca + Mg); y el valor de T o de T—S; lo que se hace mediante los métodos especiales atrás aludidos. (Los valores hallados en cal (CaO) se reducen a calcio (Ca) dividiendo por 28.)

Supongamos, por ejemplo, que en un suelo, con el 6,7 por ciento de humus, hemos hallado para la cal de cambio (CaO), 0,009 por 100, o sean 9 miligramos por 100 gramos de tierra seca. El valor para el Ca será 9 : 28 = 0,32 miligramos. Y, aumentando la cuarta parte, para pasar del 80 al 100 por 100, resultará

$$S = 0{,}40$$

Supongamos que, como valor de T hemos hallado, mediante determinación directa, 43,3. El de T—S será 42,9.

De estos valores deduciremos los demás:

$$V = \frac{100 \times 0{,}40}{43{,}3} = 0{,}92$$

$$S\ (\text{humus}) = \frac{100 \times 0{,}40}{6{,}7} = 5{,}97$$

$$K\ (\text{humus}) = \frac{100 \times 0{,}009}{6{,}7} = 0{,}13 \quad (1)$$

La relación entre los coloides y los cuerpos cristalinos o electrolíticos no se reduce a los fenómenos de adsorción y cambio de bases. Las substancias cristalinas disueltas influyen también en el estado de agregación de los coloides, favoreciendo o impidiendo su tránsito del estado de soles o alta dispersión al de geles o coagulación.

La cal, los carbonatos y las sales de ácidos minerales (salvo los sulfatos neutros alcalinos), y sus ácidos mismos favorecen en general la coagulación de los coloides y su mantenimiento en este estado. Schlœsing estableció que la cal libre o combinada en dosis de 1 por 5.000 podía ya determinar una precipitación inmediata; a la de 1 por 10.000 la producía lenta durante cierto número de horas; y sólo si la dosis descendía a 1 por 20.000 sus efectos eran nulos. Los coloides en estado de coagulación se fijan en el horizonte respectivo, sirviendo de cemento a las partículas de arena, a la que pueden dar así una estructura migajosa y por lo tanto más tenaz y conveniente para la agricultura; y, al coagularse, engloban en su masa elementos electrolíticos, como carbonatos, sulfatos, etc. El indumento pardusco que reviste, principalmente en los suelos secos, los granos de cuarzo, es un resultado de la fijación de coloides coagulados y en su composición pueden entrar todos los elementos del complejo coloide —alófanos, óxidos de hierro, humus— y electrolitos englobados por ellos. En los suelos salinos, como en las inmediaciones de lagunas saladas, la capa dura que se forma cuando se secan y a cierta profundidad, es el resultado de la coagulación de los coloides por influjo de las sales, coagulación que puede servir de aglutinante a la arena si la capa es areno-

(1) V. D. J. Hissink: *The relation between the values* pH, V *and* S *(humus) of some humus soils, etc.*, en «Transactions of the Second Commission of the Int. Soc. of. Soil Science», 1926.

sa. Si los coloides en estado de soles, es decir, de alta dispersión, se filtran a través de los horizontes del suelo y encuentran a cierta profundidad substancias básicas en solución, se coagulan entonces, y aglutinando las partículas minerales inertes (verbigracia la arena), pueden constituir una capa dura profunda, que, engrosándose y consolidándose cada vez más, cambiará las condiciones de la circulación del agua, y, consiguientemente, de la vegetación.

De todas las substancias que protegen la coagulación de los coloides, y por lo tanto su conservación en el estrato en que se forman, la principal es la caliza. Los suelos calizos tienen pues por este aspecto, una importante ventaja: la de conservar el humus. Así, pertenecen al grupo calizo dos importantes tipos de suelo caracterizados por la abundancia de este elemento: el *chernosiem* o tierra negra de las estepas de gramíneas; y la *rendzina* o suelo negro formado sobre un substrato de roca caliza, cuando ésta no es lavada.

Los dos grupos del complejo coloide se influyen también recíprocamente: el estado de dispersión del uno favorece igual estado en el otro.

Para apreciar el alcance de esto, hay que atender a las diversas etapas y modalidades que en su generación puede ofrecer el humus. Ya hemos dicho que su formación está condicionada por las circunstancias del medio. En los bosques y prados de los países húmedos y fríos, los residuos vegetales que constituyen la principal materia prima para su formación, se depositan en abundancia; pero con frecuencia el elemento agua se halla en exceso y la temperatura es insuficiente. El proceso de humificación es lento, y puede estacionarse más o menos largamente en el estado intermedio de humus bruto. Aun prosiguiendo la descomposición, es lenta e incompleta, porque el exceso de humedad del suelo limita en él la circulación del aire y falta por lo tanto el oxígeno suficiente para el proceso de combustión, al cual efecto concurre también la escasez de las radiaciones solares. Estas condiciones son en cambio favorables a la vegetación de los hongos que, desarrollando en el suelo sus filamentos vegetativos (micelios), tienden a formar con ellos un fieltro, lo que acaba de dificultar más la circulación del aire y aporte de oxígeno. Si el substrato de estos suelos es muy silíceo, verbigracia de granito o gneis, el aporte de substancias básí-

cas que de su descomposición resulta es de suyo pequeño; pero si la humedad o pluviosidad del clima es muy grande, al mismo resultado práctico se llega aunque el substrato sea calizo; pues las bases y sales son pronto lavadas por las aguas acídulas. Las condiciones extremas se alcanzan cuando concurren a la vez el substrato silíceo y el clima húmedo o lluvioso. En tales condiciones el humus no puede cargarse de electrolitos, y permanece ácido sin alcanzar nunca las etapas superiores de su formación. El humus ácido se halla en estado de dispersión máxima y favorece entonces el tránsito a igual estado o permanencia en él de los coloides del complejo sialítico; y así ambos se filtran fácilmente a través de los niveles superiores del suelo, aumentando con los ácidos húmicos el poder disolvente del agua edáfica, y arrastrando con ello lo mismo los coloides que los electrolitos que encuentran a su paso. El resultado de este proceso es dejar los niveles superiores reducidos a una arena fina y lavada, que ofrece un aspecto cenizoso, y a la que los edafólogos rusos dieron por eso el nombre de *podsol* (suelo de ceniza) que se ha internacionalizado. En cambio, a un nivel inferior, más o menos profundo, la masa descendente de coloides impregna las capas de arena que encuentra, de un indumento pardusco o ferruginoso, dando al horizonte un tono herrumbroso, por lo que los alemanes califican a este horizonte de *Rost* (herrumbre). Pero si esta masa descendente de coloides ácidos encuentra en la profundidad un estrato con aguas salinas o básicas, o es objeto de fenómenos de reducción, entonces se coagula, y puede originar masas endurecidas que pueden unirse en una capa continua. Estas formaciones son las que reciben en francés la denominación de *alios,* en inglés de *hardpan* y en alemán de *Ortstein.* La impenetrabilidad del suelo de humus ácido al oxígeno puede acabar por hacer imposible la vida del bosque. En su lugar queda entonces el brezal, compuesto de especies especialmente resistentes a este mínimum de alimentación y de respiración radical. Y si además, bajo el brezal, se forma una capa dura, aun cuando el terreno se sanee artificialmente, será imposible volver a repoblarlo de bosque, porque la capa dura se opondrá a la penetración de las raíces profundas. El terreno podrá servir, sin embargo, según sea la profundidad del Ortstein, para pastos o para cultivo de especies de arraigo somero, como el centeno o la remolacha.

Si las condiciones del medio son extremadas en el sentido opuesto, verbigracia gran sequedad y temperatura muy elevada, tampoco serán favorables a la formación de un humus útil y abundante, porque el proceso de combustión de la materia orgánica será muy rápido y no habrá lugar a que se acumule. Así ocurre en los países de este clima. Si el caso no es tan extremado, el humus será siempre escaso en proporción, pero contendrá una mayor dosis de nitrógeno y se extenderá a mayor espesor del suelo que en los países de clima templado-frío, como ya lo hizo constar Hilgard (1). Las grandes lluvias tropicales tampoco son favorables a la acumulación de humus, pues lo arrastran en gran escala así como otros elementos.

Las condiciones más favorables son las de los climas intermedios, en que una humedad y temperatura moderadas permiten un proceso lento de oxidación y humificación, y no siendo el suelo despojado de los elementos electrolíticos, el humus puede fijarlos por proceso adsortivo, tendiendo a su saturación. En estas condiciones el humus se califica de *dulce,* y es como puede llenar plenamente sus funciones de vehículo de alimentos para las plantas. Si además el suelo, formado a expensas de un substrato calizo, no se halla descalcificado, la cal favorece la coagulación del humus y determina su conservación, así como la de los demás coloides.

Tenemos pues dos modalidades opuestas de suelos humíferos. Por una parte el suelo de humus ácido, pobre en alimentos, que, en su caso extremo, acaba por convertirse en *podsol* con un horizonte inferior de capa dura. Por otra el suelo de humus dulce, que se satura de electrolitos dándoles movilidad, y que se acumula con los demás coloides en los niveles superiores, debido a la acción protectora de los carbonatos, como ocurre con el *chernosiem* y la *rendzina.*

Entre ambos extremos ocupa un lugar intermedio el suelo sialítico St-4 de nuestro análisis tipo. El clima es suficientemente húmedo para que todos los estratos pedológicos se hallen descalcificados. La influencia retentiva de la cal no puede ejercerse más que al contacto de la misma roca madre, donde, en efecto, la acumulación de coloides sialíticos llega a su máximo. Sin embargo el lavaje es moderado: aunque el humus alcanza hasta el fondo, conserva un gran máximo en los niveles supe-

(1) *Soils.* 1906

riores, y el complejo sialítico mantiene en ellos una regular proporción. Las condiciones medias de humedad y temperatura son propicias a la humificación, y la exuberancia de la vegetación, actualmente herbácea, le suministra materia prima abundante.

Ambos complejos coloides, el sialítico y el húmico, colaboran en modificar las condiciones de textura general del suelo; pero el humus en una forma más enérgica y favorable. Se ha calculado que el mismo efecto que un 10 por 100 de arcilla ejerce, dando cohesión a un suelo originariamente de arena y cal, lo produce un 1 por 100 de humus. Además el humus, que, por una parte, se compone de coloides, y por otra, con el desprendimiento de gases que acompaña su génesis y evolución, aumenta la porosidad, ejerce su acción correctora sobre la textura del suelo en las dos direcciones opuestas; da soltura a los suelos tenaces y cohesión a los sueltos. El humus aumenta también grandemente la capacidad del suelo para el agua, pues puede absorber de ella, por sí solo, hasta el quíntuplo de su propio peso.

Por fin, aparte de su acción como complejo coloide, el humus tiene en el suelo otra significación propia como compuesto orgánico. Es la principal fuente para proveer el suelo de nitrógeno, cuerpo indispensable para la vida de las plantas, y que éstas, con excepción de determinadas criptógamas, no pueden tomar del aire donde tanto abunda; y es la base y manantial de energía de una activa vida bacteriana, cuyo resultado principal es el de llevar este nitrógeno al estado nítrico, en que la planta lo necesita.

Volviendo a los elementos inorgánicos, de la distinción que hemos hecho de los solubles en ácido clorhídrico, resulta que los que componen el complejo coloide, representan una actuación muy especial, eminentemente edafológica. Debemos ahora dejar fijada la significación de los demás, o por lo menos de los más importantes. Estos son, como más extendidos en cantidad y característicos de distintas modalidades de suelos, la *caliza,* el *yeso* y las *sales muy solubles en el agua;* como más esenciales para el alimento de la planta, la *potasa,* el *fosfórico* y el *nitrógeno.*

La caliza, en cierta dosis, que puede variar según el clima, verbigracia un 6 por 100, un 10, un 12, puede ya origi-

nar los efectos que antes se han dicho a propósito de su relación con los coloides, y otros de que vamos a tratar. Con frecuencia, sobre todo en países secos, la caliza, es decir, el carbonato de calcio, o la mezcla del de calcio y el de magnesio (que llegando a cierta proporción recibe el nombre de dolomía), se encuentra en proporciones mucho mayores, verbigracia superiores al 60 por 100, como ocurre en muchas comarcas de la España central, oriental y meridional. En este caso el exceso de caliza puede considerarse como elemento esquelético, al par del residuo insoluble, y sólo influye, como cantidad, en las condiciones físicas del suelo. Químicamente, como su arrastre en solución en tales climas es lento, el mismo efecto pueden hacer proporciones mucho menores. En cambio, en proporciones mínimas, verbigracia inferiores a un 2 o a un 1 por 100, puede proporcionar ion calcio a la adsorción de los coloides, pero no alcanza a dar al suelo verdaderas condiciones de calizo. En los suelos calizos de los países secos no existe el problema de la cal, pues su existencia es prácticamente inagotable. Pero en los climas lluviosos una roca madre caliza no significa suelo calizo (véase nuestro ejemplo del perfil St-4); y los suelos calizos pueden también dejar de serlo.

Aunque, para disolver tres decigramos de caliza hacen falta, a la temperatura ordinaria, unos 10.000 gramos de agua destilada; si esta misma cantidad de agúa contiene anhídrido carbónico (CO_2), como ocurre en la del suelo, puede disolver ya 10 o 12 gramos de caliza. Según esto, e interviniendo sólo el cálculo teórico, si en un país caen 1.500 milímetros de agua por año, y suponemos que de ellos sólo la tercera parte se emplea en atacar la caliza, las 5.000 toneladas de agua que en esta cuenta corresponderán por hectárea podrían arrastrar de un horizonte superficial de 25 centímetros de espesor, cinco toneladas de caliza por año, que es el 0,2 por 100 del peso total de una hectárea de ese horizonte. De modo que si en éste la proporción originaria de caliza era de un 20 por 100, el horizonte quedaría descalcificado en cien años, en el caso de que no recibiera nuevos aportes que compensaran en todo o en parte esta pérdida. Pasando del cálculo hipotético a la realidad efectiva, Hall ha calculado que los suelos de Rothamsted (donde se emplaza el célebre Instituto agronómico inglés) han perdido en un siglo cosa de un 50 por 100 de su calcio, y que éste acabará por desaparecer

del todo. En los países lluviosos el problema de la cal se presenta con pavorosa gravedad. Pues, una vez descalcificado el terreno, cesa la acción retentiva del calcio sobre los coloides, éstos pasan a su estado de dispersión máxima, y tras los carbonatos, son también arrastrados a la profundidad y con ellos los electrolitos, y el suelo se empobrece y podsola. Jenny ha demostrado que, en las alturas de los Alpes, los suelos que, al formarse sobre un substrato de carbonatos, empiezan por ser calizos, acaban, mediante la acción de aquel clima, por degenerar en podsol, lo que importa un cambio no menos radical en su vegetación (1). Así, de un modo general, los suelos de los países secos son ricos en carbonatos y en electrolitos (a no ser que procedan de rocas madres exclusivamente silíceas); pero los de los países muy lluviosos tienden a ser pobres en ellos aunque procedan de substratos calizos.

Los suelos descalcificados en clima lluvioso, y los de substrato silíceo, sobre todo en clima lluvioso, son así los que más necesitan la corrección del encalado. Por lo que se ha dicho, ya se comprenderá que el efecto de éste es químico y físico a la vez. Por su expresada acción sobre los coloides, los satura y retiene en los niveles superiores, impidiendo el lavado de que serían objeto sin saturar y en el estado de alta dispersión; con lo cual corrige la textura del suelo. Químicamente determina mayor desprendimiento de amoníaco, suministrando así base a la acción bacteriana para activar la nitrificación. Este efecto fué ya reconocido por Boussingault. Pero sólo en los tiempos más modernos, merced al conocimiento de la fisicoquímica de los coloides, se ha podido comprender el proceso de su actuación. El efecto esencial y fundamental del encalado es suministrar a los coloides, y singularmente al humus, la suficiente cantidad de bases de adsorción (aquí la cal, CaO).

Hissink ha hecho recientemente estudios experimentales para llegar a expresar con precisión numérica los efectos y leyes del suministro de cal, que antes sólo podían enunciarse empíricamente con vaguedad.

Para ello se ha servido de los índices atrás expuestos, añadiéndoles aun estos otros:

(1) Véase *Vegetations-Entwicklung und Bodenbildung*, por J. Braun-Blanquet y Hans Jenny, «Mém. de la Soc. Helvétique de Sciences Naturelles», vol. LXIII, Mém. 2, 1926.

Adsorción actual = gramos de cal (CaO), por 100 de suelo, adsorbidos por el complejo coloide total (arcilla + humus).

Adsorción potencial = gramos de cal, por 100 de suelo, que la arcilla + humus pueden adsorber en las condiciones climáticas dominantes. (Estas condiciones varían pues según los países. Para el clima de Holanda, donde Hissink ha hecho sus trabajos, admitió que el máximo de los valores K era 5,2 para el humus y 1,1 para la arcilla.)

Coeficiente de utilización = la adsorción actual en porcentaje de la potencial.

Proporción en cal = la que existe entre la cal suministrada al suelo (CaO por 100 de suelo) y la adsorción potencial.

La cal no utilizada por el complejo coloide, queda en el suelo en la forma inerte de carbonato de calcio (transformándose en éste si es suministrada en otra forma), y expuesta por lo tanto a la acción del lavado.

Utilizando este lenguaje científico, se puede decir que el objeto concreto y directo del encalado es aumentar los valores K y V: y que el ideal que con él se persigue, es obtener la mayor adsorción actual posible con el menor exceso de cal y mínimo de tiempo.

Sus efectos pueden sintetizarse en estas dos leyes:

1.ª A menor grado de saturación en los coloides, mayor adsorción de cal en el menor tiempo. (Los valores K y V son pues los factores principales que rigen la adsorción actual.)

2.ª En igualdad de las demás circunstancias, a mayor división de la cal que se aplique y a su más íntima mezcla con el suelo inmediatamente después de su aplicación, corresponde una mayor adsorción actual (1).

El hecho de que un suelo contenga o no caliza se refleja en la vegetación natural. Dentro de una misma área climática hay especies, asociaciones y tipos de éstas exclusivamente calcícolas y exclusivamente silicícolas. Por ejemplo, en España el alcornocal y el robledal de *toza* se muestran silicícolas; y en cambio suele mostrarse calcícola la coscoja. Hay también especies indiferentemente calcícolas y silicícolas, verbigracia la encina *(Quercus ilex)* y el tomillo salsero *(Thymus zygis)*. Pero el mismo encinar, con estrato leñoso inferior de *Thymus zygis*, suele

(1) D. J. Hissink. Loc. cit. y *What happens to the lime when the soil is limed?* Trans. 2d. Comm. Int. Soc. Soil Sc., 1926. Para que pueda apreciarse la

mostrar marcadas diferencias en el resto de su composición subordinada (diferencias de *tipo*) según que viva en sílice o en caliza. Así en la Meseta Sur de España, el tipo de encinar con sotobosque de jaral sólo vive sobre suelo silíceo (granito, gneis y arenas resultantes de su descomposición); mientras que con el sotobosque de coscoja y de *Genista scorpius* y *Rhamnus lycioides* se le ve en terreno calizo. Por qué y de qué modo estos elementos químicos influyen en la vegetación, es problema que se viene debatiendo en el campo de la Geobotánica desde hace casi un siglo y medio (1). No podemos aquí entrar en él porque para ello hacen falta conocimientos que no han podido ser ex-

precisión de los resultados obtenidos por el autor, transcribimos aquí su cuadro resumen:

Campos de experimentación	Valores del suelo antes (arriba) y después (abajo) del encalado			Adsorción actual (arriba) y potencial (abajo)	CaO suministrada al suelo por 100 — Proporción en CaO	Resultados del encalado		
						Coeficiente de utilización	Distribución de la cal suministrada	
	K (humus)	K (arcilla)	V				Adsorbida por el complejo coloide. %	Inmovilizada en forma de $CaCO_3$ %
I	5'2 5'2	0'90 1'01	52 53	**0'062** **0'109**	0'465 4'3	57	13	87
	5'2 5'2	0 90 0'92	49 50	**0'010** **0'132**	0'240 1'8	8	4	96
III	4'0 5'2	0'68 1'00	40 50	**0'323** **0'396**	1'051 2'7	82	30	70
IV	2'3 4'8	0'12 0'55	17 38	**0'497** **0'862**	0'497 0'6	58	100	0
V	2'89 3'57		23 29	**0'308** **1'038**	0'319 0'3	30	97	3
VI	4'03 4'22		34 36	**0'082** **0'503**	0'183 0'4	16	45	55
VII	2'21 3'47		17 26	**0'629** **1'495**	0'719 0'5	42	87	13

El experimento duró de uno a dos años. Los suelos I y II, con valores K y V elevados, adsorbieron poca cal en su complejo coloide. Los suelos IV, V y VII, con valores K y V pequeños, adsorbieron casi toda la cal. Los suelos III y VI, con valores K y V medianos, aparecen con proporciones de adsorción intermedias. Al mínimo de adsorción en el suelo II, aunque el experimento duró diecinueve meses, contribuyó el haberse aplicado la cal poco dividida y mezclarse luego poco.

(1) Inició su planteamiento Monton-Fontenille en 1789; y en él terciaron, muy especialmente, Unger, Thurmann y Contejean.

puestos en lo que precede (1). Según Contejean la sílice representaría un medio inerte para el caso; la cal sería la que atrae a unas plantas y rechaza a otras. Según esto no debería hablarse de plantas «calcófilas» y «silicófilas», sino «calcófilas» y «calcífugas». En muchas regiones se ve que determinadas especies parecen rehuir la sílice, pues sólo por excepción se encuentran fuera de substrato calizo. En realidad lo que ocurre es que son indiferentes, pero en el área silícea no pueden resistir la competencia de las calcífugas. Así en el área del alcornocal del extremo sur de España, la encina y el acebuche aparecen como esencias forestales características del área caliza, no obstante que, como se ve, sin ir más lejos, en los alrededores de Madrid, ambas pueden vivir en terreno silíceo. Es que en el caso citado, en el suelo silíceo son más fuertes y triunfan en la competencia el alcornoque y también (sobre suelos pingües) la *Quercus bœtica*. Aunque no entremos pues en el problema de las causas, es necesario dejar bien esclarecido el hecho, que trasciende a la utilización práctica del suelo, no sólo forestal, sino también agrícola; pues la preferencia o antipatía por uno de los medios edáficos se manifiesta igualmente en muchas especies cultivadas.

El yeso puede, como la caliza, predominar en el substrato y figurar en alta proporción en los niveles propiamente pedológicos. Más soluble que el carbonato, es también una fuente de calcio para la adsorción, y por éste y otros conceptos, con él relacionados, puede equivaler en sus efectos a la caliza. Pero esta equivalencia dista mucho de ser absoluta. Lo que ocurre con la caliza respecto de la sílice, pasa con el yeso respecto de la caliza. Cualesquiera que sean las causas, el efecto de ésta y del yeso en la vegetación son diferentes, como lo demuestra el existir una flora exclusiva de los yesos. Así en la España xerófita son especies que únicamente viven en el yeso o solamente en él adquieren su pleno papel sinecológico: *Vella pseudo-cytisus, Gypsophila struthium, Lepidium subulatum, Ononis tridentata, Helianthemum squamatum, Centaurium gypsicola, Launæa fragilis*, etc. (2). Conviene advertir que el yeso, aun en elevadas

(1) Véase mi *Geobotánica*, colección Labor, 1929, en la que se encontrará la bibliografía del tema.

(2) Véase H. DEL VILLAR: *Avance geobotánico sobre la pretendida Estepa Central de España*, revista «Ibérica», 1925.

proporciones, no impide que la vegetación, abandonada a sí misma, llegue hasta el máximo biológico de su evolución (clímax), que dentro de esta área geográfica está representado por el *encinar* y el *quejigal* (asociación de *Quercus faginea*); pues sobre tales suelos yesosos se encuentran aún restos y testigos de ella. Pero, cuanto más atrasada es la etapa de la evolución progresiva hacia este máximo, o mayor ha sido la destrucción en el sentido opuesto, y por lo tanto cuanto menos hecho o más destruído está el suelo *stricto sensu*, mayor es la parte que en la vegetación corresponde al elemento gipsófilo, que llega a tomar la preponderancia. En otros términos: predominio de especies gipsófilas indica un suelo poco formado o muy arruinado.

En análogas diferencias de flora, pero mucho más radicales, se acusa la presencia en el suelo de sales solubles (1) en proporciones más o menos acentuadas. Cuando éstas pasan de cierta medida, que varía según la sal de que se trate y el clima, pero que siempre es muy baja, verbigracia inferior al 1 por 100, la vegetación regional general es expulsada, y sólo queda la compuesta de especies, relativamente poco numerosas, que necesitan o prefieren las sales o son susceptibles (a diferencia de la mayoría) de tolerarlas. A este grupo pertenecen, entre otras, las plantas llamadas barrilleras. Plantas halófilas o subhalófilas son, por ejemplo, las gramíneas *Glyceria distans, Gl. leptophylla, Æluropus littoralis, Polypogon maritimus, Sphenopus Gouani, Hordeum maritimum*, etc.; y las yuncáceas *Juncus maritimus* y *Juncus acutus;* las quenopodiáceas *Suæda fruticosa, Chenopodina maritima, Ch. splendens, Salicornia herbacea, S. fruticosa, Microcnemon fastigiatum, Salsola kali, S. soda*, etcétera; las plumbagináceas *Limonium duriusculum, L. ovalifolium, L. ferulaceum*, etc.; y, de otras familias, *Apium graveolens, Frankenia pulverulenta, Cressa cretica, Plantago maritima, Centaurium spicatum, Sonchus crassifolius, Inula crithmoides*, y otras muchas, eligiendo siempre ejemplares de la flora española (2).

En España se ha cometido el error, aun no del todo desarraigado, de englobar la vegetación de suelo salino, la de suelo

(1) Entiéndase «muy solubles en el agua», como el cloruro, sulfato y carbonato de sodio, sulfato de magnesio, nitratos, etc.

(2) La mayoría de las especies citadas carecen de nombre vulgar.

yesoso, y la vegetación baja residual del monte destruído, principalmente el tomillar, en un solo concepto, también erróneo, el de estepa; y dibujar, por lo tanto, en los mapas enormes extensiones continuas, calificadas así de esteparias, en la Meseta Norte, la Meseta Sur, el interior de la Cuenca del Ebro, la del Guadalquivir y el Litoral Sudeste. En mi citado *Avance... sobre la pretendida Estepa Central...* y en otros trabajos (1) me he esforzado en deshacer esta confusión. La denominación de *estepa* se aplicó originariamente al paisaje de las llanuras de Ukrania, cuya vegetación es herbácea con predominio de determinadas gramíneas. No puede pues aplicarse con propiedad sino a tipos de vegetación de graminal análogo, como el de las Pampas argentinas («pampa fértil») y el de las «praderas» norteamericanas (en gran parte). En modo alguno debe extenderse a la vegetación eminentemente leñosa de la España seca, aun cuando esté reducida, por destrucción, a tomillar. Igualmente deben distinguirse entre sí la vegetación regional degenerada en suelo silíceo, la misma en suelo calizo, la de las áreas yesosas, y la verdaderamente salina. Y lo mismo que han de distinguirse estos tipos de vegetación, han de distinguirse sus suelos: silíceo, calizo, yesoso y salino. Pero la distinción del salino respecto de los otros es la más importante de todas. Porque en todos los otros la vegetación puede llegar, con diferencia de tipos, a la clímax regional (o máximo biológico); mientras que los suelos salinos no admiten más que vegetación halófila o haloade, sin que en ellos se pueda llagar a la clímax; y en cuanto a la agricultura tampoco son, en general, susceptibles de las aplicaciones que los demás, y ofrecen el problema del *desalado*, que los demás no presentan.

Los suelos salinos no constituyen pues grandes manchas en las citadas comarcas españolas, sino que forman en ellas manchas pequeñas salpicándolas en mosaico (como es lo más frecuente en Aragón), o enlazándose en rosarios, como ocurre típicamente en la Mancha. El paso de estas manchas salinas al área no salina no siempre es brusco. En el centro de Aragón

(1) Por ejemplo: *El valor geográfico de España*, 1921; *Sur la méthode et la nomenclature employées dans mon étude géobotanique de l'Espagne* (Congreso Internacional de Botánica, Ithaca, 1926, «Proceedings» publicadas en 1929); *Sur l'emploi du mot Steppe et de ses derivés en pédologie* (Soil Research, vol. I, n. 3, 1929); y *Les sols alcalins en Espagne* (Comptes rendus de la Sous-Commission pour les sols alcalins, Budapest, 1929).

verbigracia, lo corriente es que se haga por medio de áreas, probablemente menos salinas o subsalinas, con vegetación de albardín *(Lygeum spartum)*. Esta asociación forma así el tránsito del verdadero saladar al tomillar, romeral o demás formas degeneradas del antiguo monte destruído.

El reactivo más seguro para juzgar de la salinidad de un suelo y sus límites es pues la vegetación misma. Tomando luego muestras de suelo de estas áreas y de las no salinas inmediatas, se podrá deducir cuál es el límite de la salinidad (medido en proporción de sales) que corresponde al área climática, o si se quiere geográfica, de que se trate.

Como ejemplo de proporción de sales y sus efectos copiaré los siguientes datos que se refieren a la región desértica del sudoeste de los Estados Unidos, y corresponden a un trabajo de Shantz y Piemeisel publicado en el «Journal of Agricultural Research», 1924:

Asociaciones vegetales	Niveles del suelo	Proporción de sales por mil	Calificación del suelo
De *Covillea glutinosa*. . . .	0 a 30 cm. 30 a 120 »	0 3 0'2 a 0·5	
De *Prosopis glandulosa* y *Atriplex canescens*.	0 a 30 cm. 30 a 120 »	0·5 0'6 a 1'3	No salino
De *Atriplex polycarpa*. . . .	0 a 30 cm. 30 a 120 »	1'7 2'6 a 3,3 (Máximo 5'5)	No salino a salino
De *Dondia torreyana* y *D. intermedia*.	0 a 30 cm. 30 a 120 »	9·5 7'5 a 8'9	
De *Atriplex lentiformis*. . . .	0 a 30 cm. 30 a 120 »	16'3 0'35 a 0·53	
De *Atriplex lentiformis* y *Pluchea sericea*.	0 a 30 cm. 30 a 120 »	17'6 5 3 a 8'3	Salino
De *Distichlis spicata*. . . .	0 a 30 cm. 30 a 120 »	20 4 5'3 a 12'7	
De *Allenrolfea occidentalis*. .	0 a 30 cm. 30 a 120 »	21'4 6'2 a 15'5	

La más extendida de las sales en los suelos salinos es la sal común, o cloruro de sodio. Los suelos que contienen sulfatos de

sodio o de magnesio suelen tener también cloruros (en su mayor parte de sodio). La sal más nociva para la vegetación es el carbonato de sodio o álcali negro, que hasta ahora no parece existir, en extensión importante, en España (1).

Los terrenos yesosos suelen con frecuencia contener sales solubles en pequeñas dosis, que no afectan a la vegetación, es decir, que no determinan la substitución de la vegetación gipsófila por la halófila, ni la inician siquiera. En este sentido he encontrado, por ejemplo, cloruros en dosis próximas, pero inferiores, al 1 por 1.000, medidos en cloruro de sodio. Tales terrenos no deben calificarse de salinos. Pequeñas dosis de cloruros las suelen tener todos los suelos, incluso los derivados de un substrato silíceo. En cambio, en suelos de vegetación verdaderamente halófila, verbigracia los saladares de las orillas de las lagunas de la Meseta Sur, he hallado siempre dosis de cloruro de sodio superiores al 3 por 1.000 y con frecuencia al 10 o más. El límite inferior del carácter de salinidad parece que estaría pues para esta región (si posteriores investigaciones no lo contradicen) hacia el 3 por 1.000, poco más o menos, en cuanto al cloruro de sodio. Pero a éste suelen acompañar también otras sales, de modo que la dosis total de ellas es mayor.

Hay además plantas, especialmente entre las floras de países secos, que sin ser precisamente halófilas, toleran determinadas dosis de sales. Según trabajos de Brichet en Argelia y de Fenzi en las colonias italianas de Africa (Libia, Somalia, Eritrea), se hallan en este caso, entre otras muchas, las siguientes plantas leñosas. El laurel, almendro, albaricoquero, cirolero, membrillero, peral, manzano, *Robinia pseudo-acacia*, naranjo agrio, vid y olivo, vegetan bien en un terreno, de suyo no salino, que se riegue con agua que contenga un 1,5 por 100 de cloruro de sodio. El pino de Alepo, varias especies de cipreses, el algarrobo *(Ceratonia siliqua)*, el árbol del cielo *(Ailanthus glandulosa)*, el granado, el lentisco, la cornicabra, algunas especies de *Phillyrea*, y varias acacias y eucaliptos, pueden prosperar en terrenos salinos que se impregnen con agua que contenga un 3 por 100 de cloruros. El pino marítimo, el piñonero, el datilero, la palma de Canarias *(Phœnix canariensis)*, varias ágaves, la chumbera y la adelfa, prosperan también en igual medio

(1) Se ha indicado vagamente en algún punto de la Meseta Norte. Hace falta comprobar y precisar el dato.

regándose con agua que contenga hasta un 5 por 100 de dichas sales.

En suma, los límites prácticos de la salinidad no han de referirse a la proporción numérica de las sales, sino a sus efectos en la vegetación.

Aparte la cal, el yeso y las sales solubles, hay en el suelo tres elementos químicos de especial interés por su importancia en la nutrición de la planta: la potasa, el fosfórico y el nitrógeno. Estas tres substancias, con la cal, son designadas, en el lenguaje corriente, como fertilizantes. Cada cual desempeña su papel en la fisiología vegetal, y por eso no son substituíbles la una por la otra, sino que cada cual debe considerarse por separado.

Las cenizas de las plantas suelen contener proporciones elevadas de potasa, a veces, por ejemplo, del 25 al 50 por 100; lo que demuestra que los vegetales necesitan consumirla en dosis relativamente elevada. Una cosecha mediana de patatas o de alfalfa, que son especies exigentes, puede extraer del suelo alrededor de 150 kilogramos de potasa por hectárea y año. La insuficiencia de potasa asimilable en el suelo se acusa en la planta por una disminución, hasta la anulación, de la función sintetizadora de los hidratos de carbono (almidón, azúcar, etc.). De aquí la mayor necesidad de esta substancia para las plantas que almacenan en su organismo estos principios hidrocarbonados, como la citada patata y la remolacha.

En los suelos naturales la potasa procede de la base mineral, principalmente de las rocas que contienen feldespatos, micas y otros compuestos que la cuentan en sus cationes. En los suelos cultivados, el hombre la añade por medio de los abonos en forma de compuestos haloides, como cloruros y sulfatos (abonos potásicos). Tanto en un caso como en otro, el tránsito de la potasa del estado pasivo o inerte al activo, se hace por medio de la forma de carbonato. Por esto la existencia de cal en el terreno favorece la aplicación de los abonos potásicos; pues la cal, en estado de reserva, toma (como antes hemos visto), la forma de carbonato, y éste reacciona con las sales potásicas: verbigracia si se añade cloruro potásico, resulta del intercambio cloruro cálcico y carbonato potásico.

Del carbonato, la potasa pasa por adsorción a fijarse en los coloides, como base de cambio, y ésta es su forma activa de uti-

lización para la planta. Tienen pues significado muy diferente la proporción de *potasa total* de un suelo y la de *potasa soluble*. Aquélla es un elemento litológico, pasivo: ésta un elemento edafológico, activo. Dada esta relación de la potasa con el complejo coloide y de éste con la alimentación de la planta, fácil es deducir:

1.° Que los suelos que contengan mayor proporción de coloides, es decir, los más tenaces, contendrán (en igualdad de las demás circunstancias) mayores proporciones de potasa.

2.° Que los suelos más potásicos y tenaces cederán a la vegetación mayores cantidades absolutas de potasa que los más pobres en potasa y más sueltos; pues mantendrán mayor suma de potasa en estado activo.

3.° Que la proporción entre la potasa cedida a la vegetación y la potasa soluble total será menor en los suelos más tenaces, porque habrá en ellos mayor masa coloide que la retenga (tanto más enérgicamente cuanto menos le quede).

De lo dicho se colige que la necesidad de potasa en un suelo cultivado variará según la planta y la textura del suelo, y también, naturalmente, según el clima. No obstante, no deja de ser práctico el determinar cifras medias que suministren una base general a que aplicar las correcciones de cada caso particular. Así Wohltmann calculó para la Alemania Occidental los límites siguientes (1):

Tanto por ciento de potasa soluble en el suelo	Calificación del suelo por este concepto
$<$ 0·05 por 100	Límite inferior de productividad.
0'05 a 0'08 » »	Muy pobre.
0'08 a 0'12 » »	Pobre.
0'12 a 0'20 » »	Mediocre.
0'20 a 0'40 » »	Bueno.
0 40 a 0'50 » »	Rico.
$>$ 0'50 » »	Muy rico.

La solubilidad del caso se aprecia mediante el extracto clorhídrico en caliente según hemos indicado en el análisis químico tipo de nuestro suelo St-4.

Ramann, en su Edafología (2) transcribe las siguientes ci-

(1) F. WOHLTMANN: *Das Nahrstoffskapital westdeutscher Böden.* Bonn, 1901.
(2) E. RAMANN: *Bodenkunde,* 1911 (3.ª edición).

fras, como límites inferiores de su suficiencia para diferentes texturas de suelos:

Mínimo necesario de potasa	Textura del suelo
0'12 por 100. .	Limoso-arenoso y arenoso.
0'15 » » . .	Arcilloso ligero.
0'20 » » . .	Arcilloso medio.
0'25 » » . .	Arcilloso tenaz.

Estos mínimos oscilan, pues, entre el 0,12 y el 0,25 por 100, que son casi los límites de la clasificación de mediocridad para Wohltmann.

Sin embargo, la eficiencia de la adición en forma de abono se empieza a notar mucho antes del límite inferior de suficiencia respectiva. De modo que, desde el punto de vista práctico, deben considerarse todas las cifras expuestas como tendentes a pecar por defecto más que por exceso.

En España, y más concretamente en la España seca y con referencia sobre todo al sistema cereal, suele repetirse que 0,2 por 100 es el mínimo de potasa soluble necesaria. Sin embargo, Quintanilla (que a los grandes conocimientos científicos, añadía una gran experiencia práctica personal) encontraba que 0,2 por 100 era aún poco, y esto aun para el suelo suelto de las arenas matritenses (1). En cambio, en el mismo trabajo, hace una cita de caso de suficiencia con porcentajes de 0,3 a 0,4 por 100. De todo ello resultaría que, para este país y cultivo, con un 0,2 por 100 de potasa soluble la necesidad o conveniencia del abono potásico es segura; y entre 0,2 y 0,3 es probable o asunto a dilucidar en cada caso.

En Alemania y otros puntos de la Europa media y septentrional, para precisar mejor la necesidad de potasa, se emplean varios métodos que consisten en relacionarla, no con el tanto por ciento que el suelo contiene, sino con la cantidad que de él extrae la vegetación. Como esta investigación resulta larga si ha de esperarse a recoger la cosecha, Neubauer la modificó, reduciéndola a los comienzos del proceso vegetativo. Empleó 100 semillas de centeno con relación a 100 gramos de suelo, y analizó las semillas de las plantitas germinadas, a los dieciocho

(1) Guillermo Quintanilla: *Cultivo cereal en Castilla la Nueva.* Conferencia, 1918. Reimpresa en 1927.

días. Como límite inferior de suficiencia dedujo así la extracción de 24 miligramos de potasa.

Con el mismo fin se ha utilizado el análisis de la producción herbácea espontánea o subespontánea, verbigracia la forrajera. En Suiza se ha investigado con el heno, utilizando el primer corte, y refiriendo los resultados del análisis a la hierba seca al aire con el 14 por 100 de humedad. El resultado fué que el abono produce efecto desde que la proporción de potasa en la planta baja del 2,1 por 100 (1). La aplicación práctica de la enseñanza se resume como sigue:

Proporción de potasa en la hierba	Conveniencia del abono potásico
2 por 100. . . .	nula.
1'6 » » . . .	posible.
1'6 a 1'2 por 100. .	probable.
< 1'2 » » . .	segura.

El fósforo es aún más esecial, si cabe, que la potasa. Entra en la composición de los compuestos nucleínicos, es decir, que sin él no sería posible la vida celular. Los granos de aleurona y en general las semillas lo contienen en mayor o menor dosis. En el polen se halla en estado de fosfátido o éter fosfórico. En las células que constituyen las bacterias llega su proporción hasta el 4 y 5 por 100. Las hojas y granos de los cereales lo contienen en la de 1 por 100. En el clima mesoeuropeo de Francia se calcula que una cosecha buena de trigo toma normalmente del terreno unos 100 kilogramos de fosfórico por hectárea y año.

Como en el caso del potasio, es grande la diferencia entre el fósforo total presente en el suelo, y el fósforo en forma asimilable para la planta. En su origen, el fósforo se halla también, como el potasio, en la roca madre, en forma mineral inerte e inasimilable. Estos compuestos minerales fosforados, como los fosfatos, de que existen grandes acumulaciones en algunos países, como la Berbería, son insolubles o muy poco solubles. El proceso de su paso al estado soluble y asimilable es bastante complicado, y, aun cuando sobre él se ha escrito mucho, lo único seguro es que no se conoce bien. En él intervienen acciones bacterianas. El hecho de que la acción microbiana trans-

(1) De G. WIEGNER: *Anleitung zur quantitativen agrikulturchemischen Praktikum*. Berlín, 1926.

forma el fósforo inerte de los compuestos minerales en fósforo soluble, ha sido demostrado experimentalmente, verbigracia por Stoklasa con fosfatos de la Florida. De esta intervención microbiana resultan compuestos fosfoorgánicos y fosfórico libre. Parece demostrado que no sólo este último sino el de los compuestos orgánicos es asimilable por la planta. Hay también diastasas que del compuesto orgánico liberan fosfórico por hidrólisis o por degradación.

Lo mismo que la potasa, el fosfórico es incorporado por adsorción a los complejos coloides húmico y alofánico (=zeolítico), que le sirven a la vez de almacén y vehículo, sirviéndolo lentamente a las plantas. Los llamados humofosfatos son elementos húmicos con fosfórico incorporado. Cuando se calcina una muestra de suelo, con el humus desaparece por volatización el fósforo incorporado a él. Si en el extracto clorhídrico de un suelo se añade amoniaco para precipitar el complejo coloide, con los sesquióxidos de alúmina y hierro se precipita también el fosfórico, como fosfato de estas dos bases; y en el caso, raro, de que no haya bastante hierro para satisfacer todo el fosfórico, el exceso de éste se precipita como fosfato de cal. (Lo corriente es que, por el contrario, el hierro se halle en gran exceso sobre el fósforo.)

Dada esta relación del fósforo con los coloides y el papel intermediario de éstos en la del fósforo con la asimilación vegetal, se pueden también aplicar al fosfórico las tres leyes enunciadas para la potasa.

La determinación de las necesidades de fósforo de un suelo es más difícil que la relativa a la potasa, lo que corresponde a la mayor complicación que el ciclo evolutivo del fósforo presenta. Wohltmann, en la obra antes citada, da las siguientes cifras:

Tanto por ciento de fosfórico soluble en el suelo	Calificación del suelo por este concepto
< 0'02 por 100	Límite inferior de productividad.
0'02 a 0'04 » »	Muy pobre.
0'04 a 0'07 » »	Pobre.
0'07 a 0'15 » »	Necesitado de fosfórico.
0'15 a 0'25 » »	Ligeramente necesitado de íd.
> 0'25 » »	Muy rico.

Otros autores estiman la dosis media o normal, es decir, el mínimo necesario, alrededor de 0,1 por 100; y esta cifra es la que suele citarse para la región central de España (1). Pero también aquí cabe decir que el efecto de la adición de abonos puede manifestarse antes de que la proporción descienda al mínimo necesario.

De acuerdo con la mayor complicación que presenta el proceso del fósforo en el suelo, Schneiderwind opina que la proporción de fósforo soluble por sí misma es un índice muy inseguro de las necesidades del suelo. Estas se hallarían mejor expresadas por la relación entre el fosfórico y la suma de los sesquióxidos de aluminio y hierro. La cifra del primero se toma como unidad. Así en el horizonte I del suelo St-4, puesto al principio como ejemplo, esta relación sería:

$$(3{,}05 + 1{,}37) : 0{,}06 = 74$$

La escala de calificaciones de este cociente con relación a las condiciones de fertilidad del suelo sería:

Cociente $\frac{Al_2O_3 + Fe_2O_3}{P_2O_5}$	Calificación del índice
> 90	Desfavorable.
De 90 a 60	Poco favorable.
De 60 a 40	Favorable.
< 40	Muy favorable.

Lo mismo que para la potasa, se han aplicado también a apreciar la suficiencia práctica de fosfórico en el suelo, los métodos de determinación de cantidades extraídas de él por la vegetación, analizando las plantas secas después de la cosecha, o a determinado plazo desde la germinación, o en el primer corte si se trata de heno. En el experimento de Neubauer, con 100 gramos de centeno, se dedujo que podía calificarse de bien dotado el suelo si había cedido a las plantitas 8 miligramos de fosfórico. En el del primer corte de heno en Suiza, se encontró el 55 por 100 como límite superior, a partir del cual (hacia abajo) la adición de abono fosfórico resulta ya eficaz.

Por muy esencial que sea el fósforo para la vida vegetal, no lo es menos el nitrógeno; sin él no hay materia viva. Las pro-

(1) G. QUINTANILLA: loc. cit.

teínas son compuestos orgánicos nitrogenados. Así en la planta el nitrógeno aparece acumulado de preferencia allí donde hay más intensidad de vida, lo que importa mayor masa de protoplasma en acción, como los embriones, las semillas, los brotes jóvenes, las partes verdes, etc. Aun cuando el nitrógeno libre forma la parte mayor del aire, las plantas, con excepción de determinados organismos inferiores, no pueden absorberlo e incorporárselo en esta forma, sino tomándolo del suelo. La fertilidad de éste suele por todo ello relacionarse, en primera línea, con el nitrógeno. Este es el elemento esencial del humus.

Contrariamente a la potasa y al fosfórico, el origen del nitrógeno en el suelo no está en el elemento mineral inerte, sino en la materia orgánica. Una escalonada actividad microbiana (que se describirá en el capítulo correspondiente) es la que lo lleva del compuesto orgánico al compuesto mineral soluble, es decir, al estado de nitrato, y este nitrógeno nítrico es el que las plantas superiores toman del suelo y se incorporan.

La materia orgánica nitrogenada procede, como ya se dijo, de la descomposición de los residuos vegetales de las plantas muertas, entre los cuales no debe olvidarse que forman una parte, a veces muy importante, las raíces. A la descomposición de las raíces de gramíneas y diversas plantas herbáceas, se debe en una gran proporción la acumulación de humus de los suelos de estepa propiamente dicha (chernosiem). Como aportes concomitantes, pero accesorios, pueden añadirse los de ácido nítrico y amoníaco disuelto en el agua de lluvia, el nitrógeno que del aire fijan los organismos inferiores antes citados, y la parte de vapores amoniacales, procedentes de putrefacciones, que la tierra absorbe. Y a todo ello añade el hombre los abonos nitrogenados, ya minerales o mineralizados, como los nitratos, ya orgánicos, como el estiércol. Este actúa no sólo por su contenido de nitrógeno, sino como base de una gran actividad microbiana, cuya necesidad vamos viendo por diferentes conceptos. De aquí que los abonos inorgánicos no eviten la necesidad del estiércol, por lo menos en muchos casos, y el de los suelos de la España seca es uno de ellos.

Accidentalmente se encuentran también en el suelo compuestos nitrogenados de distinto origen, como óxidos, cianuros, alcaloides, etc.

Las etapas por las cuales la acción microbiana escalonada

lleva el nitrógeno del compuesto orgánico al estado nítrico, son sucesivamente las de amoníaco, nitrito y nitrato. También hay bacterias y otros organismos inferiores, como hongos y protózoos, que, a expensas de los compuestos orgánicos nitrogenados, liberan amoníaco, aumentando así la base de actividad a las bacterias nitrificantes de las dos etapas últimas. En la final o nítrica la base a que principalmente se une el nitrógeno es la cal, fijándose así en forma de nitrato (soluble y asimilable).

Así el problema de la cal se enlaza también con el del nitrógeno. No ha de creerse, sin embargo, que cal y nitrógeno corran siempre parejas en sus proporciones. Por una parte los medios llamados ruderales, es decir, más o menos influídos por la vecindad del hombre y de sus construcciones (medio urbano, suburbios, ruinas, caminos, etc.), suelen a la vez ser calizos y dar lugar a una vegetación espontánea especial, que se califica de nitrófila. Y en los suelos lateríticos de los países cálidos y lluviosos llegan al mayor extremo la falta de cal y la de nitrógeno a la vez. Pero en cambio en los suelos turbosos de los climas húmedos y fríos, al mismo tiempo que se padece igual necesidad de cal, llegan al máximo las proporciones de nitrógeno.

Los suelos se enriquecen o empobrecen en nitrógeno según predominen, en los efectos, las citadas causas que lo aportan, y las que lo substraen al suelo. Entre éstas figuran: el lavado del humus en los climas lluviosos y suelos no calizos, que hemos ya descrito y que da por resultado el podsol; la combustión rápida del humus en los climas secos y cálidos; el paso del amoníaco a la atmósfera en las fermentaciones, proceso por el cual se pierde nitrógeno del estiércol, disminuyendo el efecto de su aplicación; la actitud de ciertos microorganismos desnitrificantes; y el consumo hecho por la vegetación. Este se hace sentir sobre todo cuando se trata de la cultivada, porque en este caso no actúan las causas compensadoras que intervienen en la vegetación natural. De aquí el empobrecimiento de la tierra y la necesidad de los abonos. Según observaciones de Dehérain en los suelos de Grignon (Francia) cultivados sin estiércol, más de la mitad de la materia nitrogenada de un suelo en cultivo puede desaparecer en diez años.

Los suelos que, después de roturarse, se dejan en barbecho, o, lo que es más grave, se abandonan en erial durante mayor

o menor número de años, se empobrecen de nitrógeno. Destruída su vegetación originaria, faltan los abundantes aportes de résiduos que suministraban a la vez materia de putrefacción a la formación de humus y base de carbono a la actividad bacteriana. La desnudez favorece por otra parte que el poco humus que haya ido quedando o aporten las primeras y menguadas etapas de la reinvasión por la flora arvense, se queme por la acción del calor o sea lavado por las lluvias, máxime si se trata de terrenos no calizos. Es decir que, por este sistema primitivo de explotación extensiva, los suelos se arruinan. Una inmensa parte de la España seca se compone hoy, por esto, de suelos arruinados. Y es vana pretensión la de explotar suelos que no existen. El recobro forestal, pastoral o agrícola de esa extensión prácticamente perdida, exige la reconstrucción del suelo; y tal reconstrucción suele ser más lenta y cara que la destrucción. La inmensa mayoría de la gente (gobernados y gobernantes) no parece haberse dado cuenta hasta ahora de que el *suelo* es también una riqueza capaz de destruirse y que hay que esforzarse en conservar.

Aunque la forma asimilable del nitrógeno es la nítrica, la mayor parte del nitrógeno del suelo (un noventa y tantos por ciento) suele ser nitrógeno orgánico. Las formas de amoníaco y sobre todo de nitritos suelen ser transitorias y poco estables. Después de los compuestos orgánicos nitrogenados, o prácticamente el humus, la forma más importante que tomar en cuenta es la de nitrógeno nítrico o sea la de nitrato. Pero, salvo el caso de los suelos salinos, en que la sal, o una de las sales, es ésta, la proporción de nitrógeno nítrico suele ser muy pequeña. Según Ramann, en los suelos cultivados normales oscilaría entre 6 diezmilésimas y 3 centésimas por 100. La proporción de 0,009 por ciento se ha citado (por Vogel von Falkenstein) en un suelo forestal muy humoso. La del amoníaco es aún menor: según Schloesing oscilaría, en los suelos normales, entre 5 diezmilésimas y 2 milésimas por 100.

Por eso, si se quiere buscar en la proporción de nitrógeno un índice de fertilidad de la tierra (índice que no todos los autores consideran seguro), o una indicación práctica para la aplicación de abonos, se acude o al contenido centesimal de nitrógeno total respecto del suelo total, o al del nitrógeno en el humus.

Con el primer criterio da Wohltmann en la obra dos veces citada la siguiente escala:

Tanto por ciento de nitrógeno en el suelo	Calificación del suelo por este concepto
< 0'02 por 100	Límite inferior de productividad.
0'02 a 0'03 » »	Muy pobre.
0'03 a 0'06 » »	Pobre.
0'06 a 0'10 » »	Mediocre.
0'10 a 0'20 » »	Bueno.
0'20 a 0'30 » »	Rico.
> 0'30 » »	Muy rico.

Otros autores, y así suele hacerse también en España, consideran la proporción de 0,1 por 100 como límite inferior de las necesidades del cultivo. Desde él es necesario enriquecer el suelo con abonos nitrogenados. Pero éstos pueden también dar buen resultado sin que se haya descendido a este límite; y la conveniencia del estiércol (para el caso de la España seca y otros análogos por lo menos) se halla en el mismo caso.

En los suelos turbosos húmedos (landas, turberas, etc.) la proporción de nitrógeno en centésimas de suelo total seco puede alcanzar de 0,5 a 2,5 por 100. Sin embargo, allí se presentan para la productividad agrícola otros inconvenientes, que ya quedan citados.

Hilgard había dado otra escala, quizás más segura, fundada en la proporción de nitrógeno en el humus y teniendo además en cuenta la importancia de la cal. Es la siguiente:

Tanto por ciento de nitrógeno en el humus	Condición práctica del suelo
2 por 100	Falto de nitrógeno.
3 » »	No está falto de nitrógeno, si está suficientemente provisto de cal
5 » »	Suficientemente provisto de nitrógeno.

Nos queda por hablar del último elemento, acusado por el análisis tipo del perfil St-4, entre los componentes del suelo; el *residuo insoluble*. Este residuo se suele componer principal o exclusivamente de sílice (verbigracia cuarzo) y silicatos. La insolubilidad de este residuo es naturalmente relativa. Con ácido sulfúrico, por ejemplo, se disolverían los silicatos de alúmina;

y con ácido fluorhídrico el elemento silíceo. El análisis ulterior del residuo insoluble ya no es de carácter edafológico, sino mineralógico, y se puede hacer por vía química y por vía óptica, como los análisis de minerales en general.

No por esto es la composición del residuo insoluble, indiferente para el conocimiento del suelo. Este residuo, y el exceso inerte de compuestos calizos (carbonatos de calcio y magnesio, yeso) pueden considerarse en conjunto como un complejo lapídeo, por oposición al complejo coloide (arcilla + humus). A expensas de ese complejo lapídeo, o substrato geológico, anterior al suelo, es como el suelo se ha formado, y la naturaleza de éste tiene que depender en algún grado, mayor o menor, de la del complejo lapídeo preexistente, por mucha que sea la parte de los demás factores edafológicos, singularmente del clima.

Así, para que un suelo sea calizo en el sentido edafológico de la palabra, para que su complejo coloide y el nitrógeno nítrico que se forme puedan disponer de cal, es preciso que ésta preexsista en la base mineral de que el suelo procede. Puede darse el caso de que el substrato no desempeñe el papel de roca madre, o no lo desempeñe totalmente, y que sobre un substrato no calizo se forme un suelo calizo, habiendo sido la caliza aportada, verbigracia, por el viento. Pero esto en realidad no contradice la anterior afirmación, pues que el complejo lapídeo, sea sedentario o sea parcial o totalmente de acarreo, no cambia lo esencial de su función de depósito previo de materiales. Así los suelos negros llamados *chernosiem*, como los del sur de Rusia, de donde el término procede, se dice que son indiferentes al substrato, pues se extienden por igual sobre substratos diferentes. Pero en realidad tales suelos se han formado sobre un loess o aporte eólico con elemento calizo.

En cambio, también es verdad que un mismo substrato, más aún, un mismo substrato calizo, puede dar origen a suelos de tipo distinto, bajo diferente clima. En España, sin ir más lejos, sobre substrato calizo se forman en la Costa Cantábrica suelos descalcificados sialíticos, como el St-4 del análisis tipo; y en cambio en el área seca del interior y del Este, sobre ese mismo substrato se forman suelos humoso-calizos, entre cuyas variedades y etapas figuran las tierras rojas. Análogamente, sobre substratos de granito y de arenas silíceas, se forman, como

oportunamente veremos, suelos diferentes en Galicia que en la llanura matritense. Pero, en cada uno de los dos climas, cantábrico y de la España central, se forman sobre el substrato silíceo suelos diferentes que sobre el calizo.

En los casos extremos, con todo, el predominio del factor clima puede acabar por vencer o anular la influencia del factor suelo; pero ésta habrá figurado siempre con sus efectos en un largo período de la evolución. Así Jenny ha mostrado en las cumbres alpinas que el suelo que sobre substrato calizo toma un tipo (humoso-calizo), puede, a la larga, ser lavado de carbonatos, y al fin podsolado. En este caso lo que hay es una evolución radical de ciclo relativamente corto, de un tipo a otro. Pero éste es sólo el caso negativo, de la «no existencia de caliza». En el positivo, o sea de los «suelos calizos», es evidente que no podrán originarse allí donde la base litológica, sea de origen sedentario o de origen eólico, no tenga cal. Así en el centro de España se forman suelos calizos sobre el substrato geológico calizo (margas, calizas y yesos terciarios, verbigracia), pero suelos no calizos sobre el substrato geológico de las arenas graníticas.

La naturaleza del elemento no calizo de la base lapídea, verbigracia del residuo insoluble en ácido clorhídrico, puede también influir en las condiciones del suelo. Ya hemos visto que de él procedía, por ejemplo, la potasa. La riqueza de un suelo en este importante elemento se relaciona pues con la naturaleza del residuo insoluble. Así los granitos suelen dar suelos bien provistos de potasa (si el lavado no es excesivo), pues este elemento se encuentra en determinados feldespatos y micas que figuran en dicha roca. Lo mismo cabe decir de las arenas graníticas, como ocurre en las de la llanura matritense, en que la potasa llega, según Quintanilla, hasta el 6 por 1.000 (1). Los feldespatos, especialmente la ortosa, que es el más abundante en los granitos, son también el origen principal de los elementos del complejo alofánico (o zeolítico): sílice y alúmina.

Cuando el substrato, en lugar de una roca viva, consiste, por el contrario, en una formación geológica de aluviones, podrán iniciarse diferentes tipos de suelo según el área climática

(1) G. QUINTANILLA, ob. cit.

a que el caso corresponda; pero en condiciones medias en que no falte la humedad ni sea el lavado excesivo, se tiene ya, por dicho concepto, un carácter prácticamente favorable en la variedad de elementos minerales que ofrece una rica base a la elaboración edáfica.

Los tipos de suelo salino continental suelen presentarse en su principal desarrollo en las áreas secas. Pero el papel del clima es aquí más bien pasivo que activo. En un clima húmedo las sales serían más o menos enérgicamente lavadas en la inmensa mayoría de los casos. Pero tampoco toda la extensión de los suelos secos es salina. Por lo menos en los climas intermedios, como el de la región mediterránea, en que, al lado de áreas salinas, hay otras que no lo son, es evidente que estas diferencias del suelo *stricto sensu* hay que relacionarlas con el substrato. Las áreas no salinas tienen el mismo clima que las salinas; por lo tanto es al factor geológico al que hay que atribuir las diferencias. Las sales no podrían acumularse en hondonadas ni subir por capilaridad a la superficie, si no existieran previamente en el substrato geológico.

De lo dicho en este capítulo resulta que los elementos que nos interesa distinguir y estudiar en el suelo pueden agruparse de este modo:

Materia orgánica.	Residuos orgánicos no descompuestos. Humus.	
Complejo alofánico (o zeolítico).	Silice soluble (en HCl). Alúmina. Oxido de hierro.	Complejo coloide.
Sales solubles (en agua)	Haloides.. . . .	Elementos de adsorción.
Grupo calizo	. . . .	Complejo lapídeo.
	Residuo insoluble. . .	
	A esto hay que añadir.	El agua. Los elementos biológicos.

De los elementos biológicos hablamos en un capítulo especial; pero, por lo que va dicho, se comprende ya su importancia y lo esencial de su papel. Ante esta enumeración sinóptica, el *suelo* aparece muy claramente como una entidad natural bien individualizada; de gran complejidad en su composición; sede

de una intensa actividad especial; y perfectamente distinta de las entidades puramente litológicas, por la presencia y actividad de sus dos elementos esenciales: el biológico y el complejo coloide.

Con esto quedan perfectamente deslindadas la Geología y la Edafología.

CAPÍTULO III

EL ANALISIS QUIMICO

En el anterior capítulo hemos aprendido a conocer, sobre la base de los resultados de un análisis, los componentes del suelo, cada cual con su función propia.

Debemos ahora precisar cuál es el procedimiento eficaz y apropiado para esta separación. Las personas no técnicas, aun cuando sean cultas en otros ramos, suelen tener ideas muy equivocadas sobre lo que es el análisis químico de tierras. La mayoría hablan de él, como si no hubiese más que una suerte de análisis, o, en todo caso, los diversos procedimientos empleables condujeran a un resultado único. Y parece consideran este resultado como la expresión de *lo que la tierra tiene,* y tal como lo tiene, como si la tierra fuese una simple mezcla. Todo esto es erróneo; y, en la práctica, da por resultado el que los agricultores gasten dinero y los laboratorios esfuerzo en una labor a menudo inútil.

Un análisis es la sumisión de la muestra a la acción de diferentes reactivos y en determinado orden y condiciones (de tiempo, temperatura, concentración, etc.). Según varíen los reactivos y el orden y condiciones de su aplicación, así como los demás detalles de las manipulaciones que han de emplearse, variarán los resultados del análisis, aunque las operaciones estén bien hechas y la tierra sea exactamente la misma. Por otra parte, lo que separan los análisis no es precisamente la suma de lo que la tierra tiene y tal como lo tiene, sino lo que la tierra abandona a la acción de tales reactivos actuando en tales con-

diciones. En suma: el análisis químico no es un proceso absoluto y único; sino que hay diversos procedimientos que arrojan respectivamente diversos resultados.

Es pues necesario saber cuáles son esos diversos tipos de análisis y qué es lo que revela cada uno, para saber cuál es el que nos hace falta según lo que, en cada ocasión determinada, nos interese averiguar.

En el orden práctico, los agricultores españoles son poco dados a encargar análisis; pero, cuando lo hacen, suele ser la inmensa mayoría de las veces para saber la proporción de substancias fertilizantes de su suelo, y consiguientemente si necesita abonos y cuáles. En el capítulo anterior se ha demostrado que la eficacia de estas substancias no se relaciona con la cantidad total bruta que de ellas exista en el suelo, sino con la parte que se halle movilizada, principalmente por la adsorción por los coloides, y en estado soluble y asimilable; y además que, aun la eficacia de la parte movilizada, no depende tampoco de su propia cantidad, sino que en el fenómeno interviene también su proporción respecto de los complejos coloides. Pero además, las cifras mismas de substancias fertilizantes, totales o movilizadas, que el análisis dé, serán distintas según el procedimiento analítico empleado.

De todo esto resulta que, aun para el fin exclusivo de la aplicación de abonos, hace falta un conocimiento del suelo más detallado que el de la simple cifra de fertilizantes presentes, y no es indiferente un método de análisis u otro.

Podemos pues decir que, en el caso más general, el labrador que encarga un análisis no sabe lo que pide, ni puede utilizar lo que, como resultado, se le da. (Aun podríamos añadir que, al desconocimiento del punto que aquí se trata, se añaden otras circunstancias agravantes, como es la toma de una muestra aislada, sin tener en cuenta el conjunto del perfil, su profundidad ni otras circunstancias que pueden afectar al problema.)

En primer lugar, el análisis del suelo en vista de distinguir sus componentes, puede ser mineralógico o químico.

He aquí un ejemplo de análisis mineralógico, por O. Tamm, conducente a conocer la alteración de unas arenas de origen fluvial (en Degersfors, Suecia) mediante el proceso de podsolización de que atrás hemos hablado. La columna I corresponde

a la parte superior, lavada, y la II a la inferior, en que se acumulan productos arrastrados por este lavado:

CUADRO III

Composición mineral	I		II	
Cuarzo	49,9		39,0	
Feldespato potásico	21,5		21,0	
Feldespato sódico	17,8	46,0	22,6	52,8
Feldespato cálcico	6,7		9,2	
Mica	2,7		4,3	
Limonita (óxido de hierro)	0,1		0,3	
Complejo sialítico (1)	1,4		3,7	
Totales	100,1		100,1	

Los términos del resultado del análisis son aquí completamente distintos de los que aparecen en los análisis tipo del suelo de prado de Santander (St-4). Aquí el elemento edáfico en sentido estricto se reduce al último término, que engloba los componentes del complejo coloide. En este caso se trataba de un suelo muy poco hecho, en que la parte mineral inactiva representa la casi totalidad; y lo que el autor se proponía averiguar era la medida en que los agentes factores del suelo actuaban en la desintegración de cada componente mineral. Y, efectivamente, se ve en los resultados, cómo el elemento más resistente al ataque y el lavado es el cuarzo, cuya proporción tiende a aumentar en el nivel superior, mientras los demás elementos son atacados, y los productos de este ataque hacen aumentar su proporción en el nivel inferior a que son arrastrados. Pero en esto hay también marcadas diferencias; pues se ve que el feldespato sódico es lavado en mayor proporción que el potásico, y en mayor aún el cálcico. Como resultado general, el complejo coloide tiende a acumularse en la profundidad; y el nivel superior a reducirse a pura arena de cuarzo.

Pero del examen de todas estas cifras, no podríamos deducir, ni aun cuando las proporciones del complejo coloide fueran mayores, todas las enseñanzas que sobre la naturaleza del suelo nos han dado los análisis del perfil español St-4.

(1) Substituímos esta denominación, de acuerdo con las ideas expuestas y lenguaje adoptado, a la de «complejo caolínico» que empleó Tamm.

Para ello, lo que hemos necesitado, no es un análisis *mineralógico,* sino un *análisis químico.* El mineralógico sólo podría servirnos de complemento para conocer la naturaleza del residuo insoluble, y, en el último horizonte, la de la roca madre, de la cual sabemos sin embargo que la mayor parte son carbonatos, la mayoría de calcio y en pequeña parte de magnesio.

Pero el análisis químico puede ser, en primer término, de dos modos: total o especial, verbigracia, para nuestro caso, especial en sentido edafológico. He aquí un ejemplo, que permite la comparación. Se refiere a los análisis del horizonte superficial de un suelo forestal de la Selva Negra (Alemania), sobre substrato de granito. La primera columna expresa el resultado del análisis total; las otras, los de los análisis edafológicos, hechos respectivamente por dos autores distintos, mediante la separación por el ácido clorhídrico de los elementos solubles en él, análogamente a los análisis tipo de nuestro perfil St-4 (1). Las proporciones centesimales se refieren al total de la muestra, descontadas previamente la humedad y la pérdida por ignición.

CUADRO IV

	ANÁLISIS TOTAL	ANÁLISIS EDAFOLÓGICO POR EL ÁCIDO CLORHÍDRICO	
		Por Helbig	Por Münst
Na_2O (Sosa)	3,64	0,12	0,02
K_2O (Potasa)	3,90	0,09	0,07
MgO (Magnesia)	0,57	0,06	0,03
CaO (Cal)	0,17	0,12	0,03
MnO (Manganesa)	0,11	0,11	—
Fe_2O_3 (Sesquióxido de hierro	1,38	1,54	0,54 1,22
Al_2O_3 (Alúmina)	10,22		0,68
SO_3 (Sulfúrico)	—	0,05	0,01
P_2O_5 (Fosfórico)	0,20	0,03	0,16
CO_2 (Carbónico)	0,00	0,00	0 00
SiO_2 (Silice)	81,46	0,10	1,01
TiO_2 (Titánico)	0,04	—	—
Residuo insoluble	—	97,79	97,24
Total	101,78	100,00	100,00

(1) Tanto estos análisis como los citados de Tamm están tomados de la obra de H. Stremme: *Grundzüge der praktischen Bodenkunde.* Berlín, 1926. Para mayor claridad, disponemos las cifras de los análisis de la Selva Negra según la práctica de Sigmond, que es la adoptada para el perfil St-4.

La «composición química» que nos revela la primera columna del *cuadro IV* es completamente distinta de la que nos muestran las columnas segunda y tercera. La expresión «composición química» no tiene pues un valor absoluto; lo que exige precisar, en cada caso, el relativo en que se tome. En las dos últimas columnas lo que figura son las proporciones de las substancias solubles en el ácido clorhídrico y en las condiciones en que respectivamente se ha operado; y la parte no disuelta figura en globo, como residuo insoluble, o complejo lapídeo o pasivo. Las demás cifras son las proporciones de los elementos en estado activo, movilizados, o inmediatamente movilizables, para contribuir al complejo de actividades propiamente edáficas, que distinguen al *suelo* de la *roca* (en sentido geológico). En la primera columna las substancias en estado activo se hallan englobadas con los productos lapídeos de igual composición; y así la sílice y la alúmina aparecen en cantidades muy altas, mientras en los análisis edafológicos son éstas insignificantes. Y es que ambos componentes se hallan casi por entero en estado de cuarzo (sílice) y feldespatos (silicatos de alúmina con pequeñas cantidades de otras bases); y sólo en mínima proporción, que no llega en total a un 2 por 100 de la muestra, se encuentran transformados en complejo coloide. En los análisis de las últimas columnas se puede apreciar la composición y proporción de éste; en el análisis total, no. En el análisis total el suelo aparece extraordinariamente rico en los elementos fertilizantes de potasa y fosfórico. En los análisis de las últimas columnas aparece lo contrario: que es muy pobre. Y es que la mayoría del fosfórico y la potasa no están libres o movilizados, sino en estado inerte formando parte del residuo mineral insoluble. Y lo mismo sucede con los demás elementos de cambio. Por consiguiente, y al contrario de lo que hubiera podido suponerse de antemano, *el análisis total es inadecuado para el conocimiento del suelo.*

Lo que hace a nuestro propósito es un análisis especial edafológico, que nos dé a conocer cuál es la parte del suelo utilizable para la vegetación y la composición de esta parte, que nos permita, en suma, distinguir todos los elementos cuya respectiva función e importancia se han descrito en el capítulo II. Para brevedad de expresión, llamaremos a esto un *análisis edafológico adecuado.*

Pero, aun en este análisis, y aun con el mismo fundamento, como es aquí el tratamiento con el ácido clorhídrico, puede ser que en los resultados haya diferencias sensibles, como ocurre aquí con el análisis de Helbig y el de Münst, si las demás circunstancias varían o no se opera de un modo idéntico. El ácido clorhídrico, por ejemplo, no disuelve la misma proporción de substancias a una concentración que a otra, a una temperatura más alta que más baja, durante una actuación larga o breve. Y, una vez obtenido el extracto, dos operadores, actuando con dos porciones del mismo, podrán llegar a cifras algo distintas según el método y escrupulosidad que empleen en la determinación de cada componente disuelto. Los resultados sólo coincidirán si hay suficiente uniformidad en los procedimientos y detalles operatorios. Sin esto, los resultados de los diferentes análisis por los varios operadores de los distintos países, no serán comparables entre sí, con lo que las enseñanzas que con ellos se obtengan no podrán nunca adquirir un valor general.

La consecuencia sintética de todo esto es que el análisis edafológico necesita un *método adecuado* y *uniforme*.

Este ideal podrá parecer hoy una verdad vulgar; pero lo cierto es que, no sólo no se ha llegado a alcanzar del todo, sino que durante largo tiempo ni siquiera se ha pensado seriamente en él, y, aun hoy mismo, hay en los distintos países mucho elemento técnico que se resiste a evolucionar en este sentido, y mucho elemento gobernante que ni siquiera se preocupa del problema, ni aun tiene quizás noticia de él.

La necesidad de un método de análisis químico de tierras, *adecuado* y *uniforme*, ha sido uno de los principales motivos que han determinado la reunión de asambleas agrogeológicas internacionales y la formación de la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo, y, consecuentemente, ha suministrado a ésta uno de los temas principales para su actividad.

La historia de este asunto fué ya expuesta por el autor el año 1926 en la revista *Ibérica* (1). Aquí nos toca no sólo repetir esta historia, sino completarla.

La primera comisión internacional para el progreso y uni-

(1) EMILIO H. DEL VILLAR: La Edafología y la Geobotánica en la vida internacional y en España.

formación del estudio químico del suelo, se nombró ya en la reunión agrogeológica celebrada en Estocolmo en 1910.

Tras unos cuantos años de labor, la Comisión se volvió a reunir en Munich, en abril de 1914. El presidente, Dr. Alexius A. J. de 'Sigmond, de Budapest, leyó en esta reunión un luminoso informe resumiendo el estado del problema, y enumerando, consiguientemente, los principales tipos de análisis y métodos que se habían venido empleando.

Los problemas debatidos se reúnen allí en cuatro grupos:

1) Métodos de análisis rápido.

2) Análisis químico general detallado.

3) Determinación especial de los elementos que interesan a la nutrición de la planta.

4) Determinación de los elementos nocivos.

En el primer grupo entraban, entre otros temas: la determinación de los carbonatos de la cal total; la apreciación de la cal activa, a diferencia de la inerte en el complejo lapídeo; la medida del humus; la de las sales solubles; y la de la reacción del suelo, de que se habla en el próximo capítulo. Para cada una de estas determinaciones había que decidir entre los diferentes métodos. Así, por ejemplo, el total de carbonatos deducido del de anhídrido carbónico, se podía hacer determinando éste volumétricamente, como se hace con varios tipos de calcímetro, o gravimétricamente. La determinación de la cal activa podía hacerse, ya determinando su proporción en las fracciones más finas del suelo, como el limo y la arcilla; ya, verbigracia, por la velocidad de ataque mediante el calcímetro de Houdaille. Y así los demás.

Los problemas del segundo grupo, que es el más fundamental, y al que principalmente consagramos este capítulo, ofrecen una gran complejidad.

El primero que se presenta es el de la toma y selección de la muestra. El suelo se compone, como veremos en un capítulo posterior, de materiales en diverso grado de división, o, hablando más científicamente, de dispersión. Los materiales de cada tipo de dispersión pueden separarse mediante tamizados y levigaciones. Estos tipos de dispersión, aislables como fracciones del suelo total, van desde las piedras sueltas de tamaño más o menos grande, hasta los coloides, cuya dispersidad linda ya, como hemos visto, con la de las soluciones. ¿A qué fracción o

suma de fracciones del suelo, dentro de las escalas de dispersidad, debe aplicarse el análisis químico del mismo? Porque, con lo dicho hasta aquí, basta para comprender que, si tomamos como límite superior de la muestra una dispersidad mínima, la parte lapídea será mayor, y cuanto menor sea el límite de dispersidad para separar la muestra, mayor será, con todas las probabilidades, la proporción de coloides. La *tierra* propiamente dicha puede contener, no sólo elementos químicos inertes, sino pequeñas partículas de la roca madre, que se acusarán en los haloides inactivos y en el residuo insoluble. ¿En qué medida podrían influir las partes no terrificadas, sobre todo los haloides, en la caracterización química del suelo? Todo esto significa que la primera cuestión era resolver con qué finura de tamiz deben tamizarse las muestras que han de someterse al análisis químico.

Segundo problema. Una vez tamizada la tierra, ha de someterse a la acción de un ácido que separe de ella las partes activas o fácilmente susceptibles de actuar. ¿Qué ácido habrá de ser éste? ¿A qué concentración? ¿En qué proporción respecto del peso de tierra? ¿A qué temperatura? ¿Durante cuánto tiempo? Este segundo problema del segundo grupo se descomponía, pues, en cinco problemas o puntos.

En cuanto al ácido, la mayoría de los investigadores se habían decidido ya por el clorhídrico. Sin embargo la uniformidad práctica distaba mucho de ser completa, pues hay países, y España es uno de ellos, en que los análisis químicos oficiales de suelos se siguen haciendo solamente por medio del ácido nítrico, y con miras que afectan más bien a nuestro tercer grupo.

En cuanto a concentración, los laboratorios norteamericanos lo venían empleando hacia tiempo a la densidad de 1,115, equivalente a la dosis de 22,9 por 100 en la solución acuosa. Vesterberg lo proponía al 20 por 100; y otros lo usaban al 18.

Respecto al tiempo, los criterios oscilaban entre cinco días de digestión en el método americano seguido por Hilgard, y una hora en el de Vesterberg y Atterberg. En cuanto a proporción tampoco había uniformidad; y, por lo que hace a la temperatura, este factor influía diferentemente según variasen los demás.

El tercer orden de problemas se presentaba después, cuando, obtenido el extracto clorhídrico de los elementos solubles, se

tratase de determinar en este extracto la proporción de cada cual. Una de las determinaciones más importantes en cuanto a necesitar un acuerdo uniforme, era la de la sílice soluble.

Por fin, además de la preparación del extracto y el análisis de su contenido, se presentaban los problemas de las determinaciones que se han de hacer aparte: la de la materia orgánica total, la del humus propiamente dicho, la del nitrógeno total y del humus, la de las sales solubles en el agua, etc.

El tercer grupo planteaba problemas paralelos a los del segundo, y aun puede decirse que podían confundirse. Precisamente la necesidad de separar en lo posible los elementos movilizados de los inertes, era lo que llevaba a la cuestión de los disolventes. Si eran demasiado débiles, podrían no llegar a separar toda la parte activa, o separar proporciones tan pequeñas, que las diferencias acusadas en las distintas tierras resultasen insignificantes e insuficientes para diferenciar unos suelos de otros. Si eran demasiado fuertes, no se limitarían a atacar sólo la parte activa del suelo, sino que atacarían también parte de la inerte, y los resultados no permitirían apreciar las verdaderas proporciones de aquélla.

Aparte del agua destilada, para la determinación exclusiva de las substancias solubles en ella, como cloruros, nitratos, sulfatos de sodio y magnesio y carbonato de sodio, se habían venido empleando como disolventes débiles:

a) El ácido clorhídrico al 10 por 100, empleado en Rusia.

b) El mismo ácido al 1/5 normal, usado en los Estados Unidos.

c) El ácido nítrico muy diluído, empleado en Hungría, por Sigmond.

d) El ácido cítrico al 1 por 100 o método de Dyer, modificado por Hall.

e) El ácido acético al 1 por 100 o método de Pagnoul.

f) El agua de cal o método de Rümpler.

Con los disolventes débiles se pretendía reproducir en el laboratorio la acción disolvente de los jugos de la tierra en la naturaleza. El inconveniente es que se obtienen cifras muy pequeñas. Con los ácidos fuertes se obtienen cifras mayores y resultados por lo tanto más diferenciales. Con ellos se sobrepuja grandemente la acción de los jugos del suelo en un momento dado; pero se pretende sintetizar la obra que en total y a la

larga podrán realizar en el suelo esos jugos naturales. Los resultados de uno y otro método aparecen así armónicos: el tratamiento por disolventes débiles daría el valor actual del suelo; el tratamiento por disolventes fuertes, el valor potencial. Y éste sería el más adecuado como medio de diferenciación.

Los disolventes fuertes que se venían empleando eran principalmente:

a) El ácido clorhídrico a densidad de 1,115, ya citado en el grupo anterior.

b) El ácido nítrico concentrado, a 36° Baumé.

c) Y el ácido oxálico concentrado.

No debe creerse que ni aun para la determinación de las sales solubles en el agua (caso mucho más sencillo) existiera tampoco uniformidad. El informe de 'Sigmond enumera los tres métodos de Schlœsing hijo, de Mitscherlich y de King; y en los mismos Estados Unidos se venían empleando diversas proporciones de agua y en diferentes condiciones en los laboratorios de los distintos Estados.

Análogamente divergían los métodos respecto del cuarto grupo. 'Sigmond enumera, por ejemplo, el de Takes y el americano oficial para determinación de los ácidos húmicos libres en los suelos ácidos; y los métodos gravimétricos y dosimétricos para la de las sales nocivas (1).

Como epílogo a las discusiones que sobre los distintos métodos empleados hubo en Munich, publicó Hissink en mayo siguiente un trabajo crítico, y en él defendía como solución al problema principal, de la preparación del extracto clorhídrico, la siguiente:

Emplear 10 gramos de tierra. Separar primero con agua y una solución muy diluida de ácido acético las sales solubles (en agua) y carbonatos. Tratar luego la muestra por 200 centímetros cúbicos de una solución de ácido clorhídrico al 25 por 100 en peso, poniendo el conjunto a la llama hasta que alcanzase la temperatura de ebullición a unos 110 grados (lo que debía ocurrir a los 10 minutos próximamente) y mantenerlo así dos horas más a la lumbre, con un refrigerador de reflujo.

(1) ALEX. A. J. DE 'SIGMOND: *Bericht über die Arbeiten der Internationalen Kommission für die chemischen Bodenanalyse.* Int. Mitteilungen für Bodenkunde, 1914.

Esta proposición ha sido el eje sobre el cual ha venido girando luego todo el debate sobre este problema fundamental y que, con modificaciones accesorias, ha venido a imponerse (método Hissink-Van Bemmelen, o sea de Van Bemmelen modificado por Hissink) (1).

La barbarie de la guerra vino a cortar la labor científica internacional. Pero en 1922 volvió a reorganizarse en Praga la Comisión de Análisis Químico y reanudó en seguida sus trabajos.

Como resultado de ellos, la Conferencia Internacional de Edafología celebrada en Roma en 1924, adoptó en principio el método Hissink-Van Bemmelen como internacional para base de análisis químico de suelos, pero reconociendo que aún no había unanimidad de parecer sobre algunos de sus detalles, singularmente los relativos a proporciones y duración. Se invitó, pues, a una experimentación internacional sobre estos dos puntos:

1.° Si la proporción de ácido clorhídrico había de ser de 25 centímetros cúbicos por cada gramo de tierra, o si, para cada gramo de ésta, bastarían 10 centímetros cúbicos de ácido.

2.° Si en vez de una ebullición de dos horas, no bastaría una hora sola.

En esta investigación tomaron parte: de 'Sigmond, en Budapest; Blanck y Rieser, en Göttingen (Alemania); Hissink, en Gróningen (Holanda); Vesterberg, en Estocolmo; Gile, en Wáshington; y Seiwerth, en Zagreb (Croacia, Yugoeslavia). Y se llevó a cabo sobre cuatro tipos de suelo: uno *alcalino* (= salino), un *badob,* del Sudán, un *podsol,* y una *rendzina* (suelo humoso de substrato calizo). He aquí, como ejemplo (cuadro V), los resultados relativos al complejo coloide mineral bruto, o sea suma de *alúmina* y *sesquióxido de hierro* con pequeñas cantidades de fosfórico y, eventualmente, titánico y manganesa. Los números de la segunda columna indican los detalles

(1) D. J. HISSINK: *Ueber die Bedeutung und die Methode der chemischen Bodenanalyse mit starker heissen Salzsäure.* Int. Mitteilungen für Bodenkunde, 1915, I. En este trabajo se citan también sus antecedentes.

del procedimiento respectivamente empleado, con esta significación:

10 cm.^{3} — 1 h. = proporción de 10 centímetros cúbicos de ácido por gramo de tierra,—y una hora de ebullición.
10 cm.^{3} — 2 h. = la misma proporción de ácido — y ebullición durante dos horas.
25 cm.^{3} — 1 h. = proporción de 25 centímetros cúbicos por gramo,—y una hora.
25 cm.^{3} — 2 h. = esta última proporción—y dos horas.

CUADRO V

TIPOS DE SUELO	PROCEDIMIENTO	TANTO POR CIENTO DEL COMPLEJO COLOIDE HALLADO POR					
		Sigmond	Blanck y Rieser	Hissink	Vesterberg	Gile	Selwerth
Alcalino	10 cm^3 —1	8,50		8,41	8,21	—	8,55
	10 » —2	8,64		9,01		9,25	9,23
	25 » —1	8,61		8,48		8,58	9,05
	25 » —2	8,92	8,11	9,19	8,83	9,35	9,76
Badob	10 cm^3 —1	22,52			21,23	—	22,06
	10 » —2	22,70				21,70	23,14
	25 » —1	22,73				22,08	22,95
	25 » — 2	22,86	24,21		23,59	22,97	23,77
Podsol	10 cm^3 —1	18,31			17,09	—	18,02
	10 » —2	18,22				18,99	18,60
	25 » —1	18,49				18,00	18,66
	25 » —2	18,77	18,91		20,91	18,90	18,78
Rendzina	10 cm^3 —1	6,71			6,77	—	6 56
	10 » —2	7,01				7,46	7,54
	25 » —1	7,54				6,66	7,27
	25 » —2	6,91	6,62		8,78	7,25	7,88

(Nótese aquí, de paso, cómo el factor personal puede a veces originar diferencias mayores que determinados detalles de procedimiento.)

Los resultados de esta investigación internacional se llevaron al Congreso de la Ciencia del Suelo celebrado en Wáshington en 1927.

Las diferencias arrojadas por el cuadro expuesto (V) y

análogamente por el correspondiente a las proporciones de sílice soluble, fueron escrupulosamente contrapesadas, y de esta labor concluyó la Comisión que bastaban la proporción menor de ácido a suelo (salvo en casos de gran riqueza en haloides) y la menor duración de la acción en caliente. Convino, sin embargo, en que aún quedaban en el procedimiento detalles por precisar y afinar, labor de que podría encargarse el mismo Dr. Hissink que lo había propuesto; por lo cual era preferible no dar sino el carácter de recomendación al acuerdo sobre el método internacional, adoptado sobre las siguientes bases:

1.ª *Las proporciones de solución de ácido clorhídrico serán: de 10 centímetros cúbicos por gramo de tierra en general; pero de 25 centímetros cúbicos por gramo en caso de que la tierra sea rica en carbonatos u otros compuestos muy atacables.*

2.ª *La concentración del ácido será del 20 por 100 en peso, lo que equivale a una densidad de 1,100, con ebullición a 110 grados centígrados sin cambio en dicha concentración.*

3.ª *El tiempo para alcanzar dicha temperatura constante de ebullición no debe exceder de 10 a 15 minutos; y, desde que se alcance, la ebullición debe prolongarse durante una hora.*

4.ª *Para disolver la llamada sílice soluble (que se vuelve en su mayor parte a precipitar cuando se evapora el extracto clorhídrico a sequedad y se trata por el ácido clorhídrico concentrado) se adopta el tratamiento del residuo seco por 200 centímetros cúbicos de hidróxido de potasio de peso específico 1,04, durante cinco minutos a la temperatura de 55 grados.*

En un quinto artículo se encarga al Dr. Hissink de la redacción detallada del método, y se invita a todos los investigadores que lo utilicen, a comunicar a dicho sabio las observaciones o críticas que sobre él les sugiera la experiencia, a fin de que con la base de todas estas enseñanzas pueda, en el próximo Congreso Internacional (de Leningrad, en 1930), transformarse en método internacional definitivo (1).

Las diferencias entre este acuerdo y el próximo de 1927 no pueden ser grandes. El extracto del suelo con ácido clorhídrico en caliente puede considerarse como impuesto definitivamente, e indispensable para que los resultados sean comparables. Los

(1) *Proceedings and Papers of the First International Congress of Soil Science*, Washington 1927. Vol. I (1928), pág. 196.

análisis del perfil de Santander (St - 4) que hemos tomado como base de estudio, están hechos de acuerdo riguroso con los convenios de Wáshington.

Una vez acordado el detalle definitivo en la preparación del extracto clorhídrico, y la forma de separar la sílice, quedará todavía por unificar el procedimiento de determinación de cada uno de los demás cuerpos disueltos en el ácido. Pero esto no parece ofrecer tanta dificultad, pues son ya problemas de pura química, en que sólo se trata de buscar la mayor exactitud. En este orden diferentes procedimientos pueden, y hasta deben dar, si son igualmente exactos, el mismo resultado.

En esta determinación de los elementos del suelo disueltos en el extracto es donde empieza el análisis propiamente dicho; pero siendo éste un asunto de pura química, cae fuera del tema de este libro y debe estudiarse en los tratados de química analítica.

Sin embargo, aun el que no ha de efectuar análisis por sí mismo, pero sí apreciar sus resultados, es conveniente que tenga una idea de la naturaleza de estas manipulaciones. Por otra parte, algunas de ellas son, a la par de importantes, sencillas, y pueden fácilmente ponerse al alcance de toda persona de alguna base cultural. Más aún: sería de desear que en toda explotación rural de alguna importancia hubiese un laboratorio de ensayo, por elemental que fuese. E igualmente lo podría haber, con carácter colectivo, en muchos ayuntamientos rurales, para uso de los labradores pobres. Para los ensayos puramente cualitativos, los elementos necesarios son en general de escaso coste. Para los cuantitativos resultan más caros; pues hace falta en primer término una balanza de alguna precisión, y además estufa y horno, con el consiguiente gasto de combustible. Pero, así y todo, con un gasto de dos mil a tres mil pesetas para cada uno, podría crearse una tupida red de laboratorios rurales, con su pequeña biblioteca anexa; y el efecto sería enorme. El labrador podría darse cuenta por sí mismo, aunque fuera de un modo elemental y aproximado, de la naturaleza de sus suelos. Por lo pronto se la daría de lo que es un suelo, y de lo que significa destruirlo o restaurarlo. Pero los conocimientos elementales y fragmentarios que por sí mismo adquiriese, le despertarían deseos de completarlos, enviando muestras a los laboratorios

(que verían así prodigiosamente aumentado su trabajo); y, al pedir un análisis, sabría lo que pide; y, al recibir los resultados de él, sabría interpretarlos mejor. Los efectos de una divulgación científica de este orden práctico por los campos, serían muy trascendentales; pues desde luego, con ser de enorme importancia para la vida agrícola, no se limitarían seguramente a ella.

Como una invitación a este ideal, se indican aquí algunos procedimientos de análisis, aplicables. ya a la muestra de tierra directamente, ya a su extracto clorhídrico: y fácilmente asequibles a la comprensión de los no técnicos, y aun a su ejecución por ellos. Se referirán al conocimiento y determinación de los carbonatos, del sulfúrico y los sulfatos, de los cloruros, de los sesquióxidos, de la cal y la magnesia, de la materia orgánica en general y el humus propiamente dicho, y de las bases de cambio como tales.

Ante todo debe tenerse en cuenta que los resultados cuantitativos de un análisis se acostumbra referirlos al peso seco de la muestra, tamizada a un límite fijo, verbigracia a 2 milímetros. Lo primero es pues dejar secar la muestra al aire lo suficiente para que se pueda tamizar, evitando que se apelotone en terroncitos o deshaciendo éstos con la presión de los dedos. El límite de dispersión de 2 milímetros es el que se ha adoptado para el análisis mecánico de que luego hablaremos. Para los análisis químicos se ha venido usando la tierra más fina, verbigracia tamizada al milímetro o a medio. Pero el autor opina que debe fijarse un mismo límite para ambos análisis, porque, si no, se referirán en realidad a dos objetos distintos: y por eso propone el análisis del tamizado a 2 milímetros y así han sido hechos los análisis tipos del perfil St-4.

Una vez tamizada la tierra es preciso acabar de privarla de humedad. Para eso se toma una porción de ella, verbigracia 10 gramos aproximadamente, y se pesa con todo rigor en la balanza de precisión. El número que exprese el peso ha de llegar, para análisis precisos y completos, a la cuarta cifra decimal; pero para análisis aproximados de reconocimiento, puede disminuirse el rigor. Una vez pesada, se pone a secar en la estufa, que debe mantenerse en una temperatura entre 100 y 110°. Una muestra de 10 gramos puede tardar, por ejemplo, seis horas en perder toda su humedad. El término de la operación se aprecia porque en dos pesadas consecutivas (entre las cuales la muestra ha vuel-

to a permanecer en la estufa) no se nota ya diferencia de peso (o la diferencia es despreciable, v. g. de 0,0004 gramos). No es necesario que la misma muestra que se ha secado en la estufa vaya al análisis. Mientras se seca, puede irse analizando otra igual, pesándola con humedad, y del peso así obtenido, restar luego (para la cuenta de los porcentajes) la proporcion de humedad que hayamos encontrado en la primera. Esta proporción será la diferencia entre el peso de la tierra húmeda y el encontrado al fin de la operación en la tierra seca.

Determinación de los carbonatos. — Los carbonatos son sales (en el sentido químico de la palabra) compuestas del anión carbónico (CO_3) y un catión, que, en nuestro caso de los suelos, suele ser el calcio (Ca) o el magnesio (Mg), y también puede ser el sodio (Na) cuando se trata de carbonato soluble y suelos salinos. Fuera de este último caso especial, lo que suele encontrarse en las tierras calizas es sobre todo el carbonato de calcio, y el de magnesio en cantidad mucho menor. Además de disociarse en sus iones, los carbonatos pueden descomponerse químicamente en anhídrido carbónico (CO_2), que es un gas, y sus bases respectivas, cal (CaO) y magnesia (MgO), tal como figura en los cuadros de análisis 2 y 4.

La composición atómica y la gravimétrica que de ella se deduce, de estos carbonatos, son respectivamente como sigue (1):

	Atomos	Peso atómico	Tanto por ciento en peso
$CaCO_3$ (Carbonato de calcio)	Ca	40,07	56,07 — 56,03 por 100 de cal (CaO)
	O	16	
	O_2	32	44 00 — 43 97 » » de carbónico (CO_2)
	C	12	100,07 — 100,00
$MgCO_3$ (Carbonato de magnesio)	Mg	24,32	40,32 — 47,82 por 100 de magnesia (MgO)
	O	16	
	O_2	32,—	44,00 — 52.18 » » de carbónico (CO_2)
	C	12,—	84,32
Na_2CO_3 (Carbonato de sodio)	Na_2	46,—	62 — 58,49 por 100 de sosa (Na_2O)
	O	16,—	
	O_2	32,—	44 — 41,51 » » de carbónico (CO_2)
	C	12,—	106 — 100,00

(1) Para mejor comprensión de esta parte, véase al final de este libro la lista de cuerpos simples con el símbolo y peso atómico de cada uno.

Averiguar si una tierra tiene carbonatos en cantidad algo elevada es sencillísimo. Basta echar en ella una gota de un ácido, verbigracia de ácido clorhídrico al tercio (uno de ácido + dos de agua destilada). Si la tierra es caliza, hará una efervescencia debida al desprendimiento del carbónico (CO_2). El calcio (Ca) se une al cloro del ácido clorhídrico formando cloruro de calcio, y, del hidrógeno sobrante del ácido y el oxígeno sobrante del carbonato se forma agua, según la fórmula:

$$\underset{\text{(Carbonato de calcio)}}{CaCO_3} + \underset{\text{(Ácido clorhídrico)}}{2HCl} = \underset{\text{(Cloruro de calcio)}}{CaCl_2} + \underset{\text{(Carbónico)}}{CO_2} + \underset{\text{(Agua)}}{H_2O}$$

Si la efervescencia es clara y se mantiene largo tiempo, puede colegirse que el suelo tiene más de un 5 por 100 de carbonatos. Si es clara, pero cesa en seguida, la proporción será más pequeña, verbigracia, de 2,5 a 4 por 100. Pero si la proporción es aún menor, la efervescencia puede ser poco perceptible, y aun nula si la proporción sube poco del 1 por 100 o ni siquiera llega a él.

En este caso hay que acudir a procedimientos más delicados, que sirven también para la determinación cuantitativa. En éstos, lo que se determina directamente es el carbónico, y de la proporción de éste se deduce, por sencillo cálculo, la del carbonato.

El carbónico que se desprende en la reacción con el ácido, se puede apreciar volumétrica o gravimétricamente.

Del primer modo, que es el menos exacto, se aprecia en los aparatos llamados calcímetros, como en el de Passon, que se dibuja como ejemplo. Estos aparatos, cualquiera que sea su detalle, constan de dos partes esenciales: un recipiente de reacción y un tubo de medida. El recipiente de reacción es un frasco o matraz en el que se deposita la muestra de suelo, en cantidad muy pequeña, verbigracia, un gramo si la proporción de carbonato es elevada. Dentro va también un depósito fijo para el ácido, con un orificio algo por encima de su nivel o un simple tubo de ensayo recostado en la pared del recipiente para que el ácido no se vierta sino a voluntad. El tubo de medida es un tubo en U, de cuyas dos ramas, una va cerrada superiormente y en comunicación con el recipiente de reacción mediante un tubo de goma, y la otra abierta por arriba y con un tubito de des-

agüe, provisto de llave, en la parte inferior. El tubo en U se llena de agua, o mejor, de una solución de cloruro de sodio, por la parte superior de la rama abierta, estando la llave de desagüe cerrada. Por tratarse de vasos comunicantes, el agua o solución llegará a la misma altura en las dos ramas del tubo. Una vez dispuesto así el aparato, se inclina el recipiente de reacción de modo que el ácido del depósito menor (o del tubo de ensayo) vaya cayendo lentamente sobre la muestra de suelo. Con esto se verificará en él la reacción atrás descrita y se desprenderá carbónico. Este ejercerá presión sobre el aire inmediato y hará retroceder la columna de agua de la rama cerrada del tubo de medida. Entonces se abre la llave de desagüe para facilitar el avance de la masa de gas, de suerte que el nivel de ambas ramas se mantenga igual. La diferencia de niveles del agua entre el comienzo y final de la operación, dará el volumen de gas carbónico desprendido. De este volumen se deduce el peso; y del peso del carbónico, el del carbonato de cal correspondiente, según la proporción de $\frac{43,97}{100}$ atrás expuesta. Pero esta cuenta no es necesario hacerla, porque los calcímetros como el citado, la dan hecha, marcando en el tubo de medida las cantidades de carbonato de calcio correspondientes al volumen a partir del cero o nivel inicial del agua.

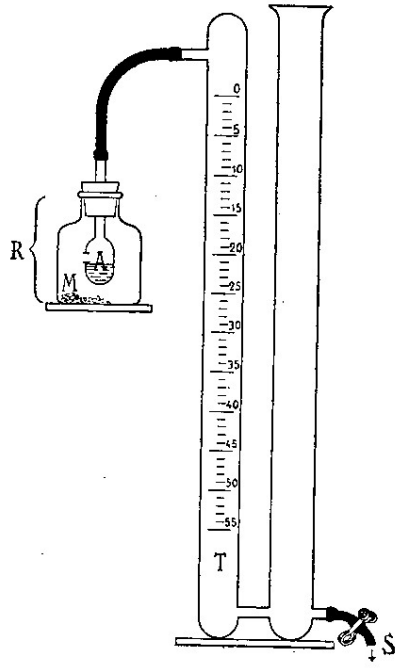


FIG. 1.— Esquema del calcímetro de Passon.

R. Recipiente de reacción. — M, muestra de tierra. — A, ácido clorhídrico. — T, tubo de medida, donde el anhídrido carbónico, desalojando el agua, marca la proporción centesimal de carbonato de calcio. — S, salida del agua.

Como el espacio que el tubo ofrece al desprendimiento de carbónico es limitado, en los calcímetros sólo puede emplearse una cantidad algo importante de tierra, verbigracia, 5 gramos a 20, cuando ésta contiene escasa proporción de carbonatos. Cuando éstos se encuentran en dosis elevada, que en muchos suelos españoles pasa, verbigracia, del 50 por 100, hay que operar con cantidades de tierra muy pequeñas, por ejemplo un gramo, y esto (aparte de otras causas) puede dar lugar a falta de exactitud.

Por éste y otros motivos es preferible el procedimiento gravimétrico. En éste se puede operar con cantidades mayores, verbigracia 10 gramos para tierras ricas en carbonatos. Tanto en este caso como en el anterior, la tierra debe emplearse lo más dividida posible, por ejemplo triturada en el mortero, y esta regla puede generalizarse para todas las investigaciones químicas aisladas.

Se toma una cantidad de ácido clorhídrico proporcionada, y con exceso, a la de tierra, verbigracia la suficiente para atacar la muestra si toda ella fuera carbonato de calcio.

La composición atómica del ácido clorhídrico es:

	Atomos	Peso atómico		Tanto por ciento en peso
HCl (Acido clorhídrico)	H	1,008	2,764	por 100 de hidrógeno (H)
	Cl	35,46	97,236	» » de cloro (Cl)
		36,468	100,000	

Y la del cloruro de calcio resultante de la reacción:

	Atomos	Peso atómico		Tanto por ciento en peso
$CaCl_2$ (Cloruro de calcio)	Ca	40,07	36 10	por 100 de calcio (Ca)
	Cl_2	70.92	63,90	» » de cloro (Cl)
		110,00	100,00	

Sabemos además que un litro de ácido clorhídrico en solución a 22° Baumé, contiene 418 gramos de ácido clorhídrico puro.

De todas las cifras que preceden se deducen las correspondencias químicas siguientes: 100 gramos de carbonato de calcio contienen 40,04 de calcio; éstos, para convertirse en cloruro, necesitan 70,874 de cloro, que equivalen a 72,8886 de ácido clor-

hídrico puro, equivalentes a su vez a 174,3722 centímetros cúbicos de ácido en solución de 22° Baumé. De modo que si operamos con 10 gramos de suelo y todo él fuera carbonato, nos bastarían, con exceso, 17 y medio centímetros cúbicos de ácido a 22° B.; y si operamos con 20 gramos de suelo, 35 centímetros cúbicos del mismo ácido. Pero, por atacar éste a otros elementos del suelo, como ya sabemos, además de los carbonatos, y para mayor sencillez al mismo tiempo, habremos rebasado todas las precauciones tomando simplemente doble número de centímetros cúbicos de ácido a 22° B. que gramos de tierra.

Esto sabido, de una vez para siempre, tomaremos un pequeño recipiente o cápsula de vidrio, que pese poco y pueda taparse bien con un tapón de borde esmerilado, y echaremos en él unos 20 centímetros de dicho ácido medidos con una pipeta o probeta, y luego pesaremos el conjunto (cápsula más ácido) en una balanza de precisión (y para no estropearla con los vapores del ácido, es para lo que necesitamos tapar bien). Tomaremos aparte unos 10 gramos de tierra, bien triturada en el mortero, y los pesaremos minuciosamente en la misma balanza. Luego echaremos lentamente, con ayuda de un pincel y sin que se pierda ninguna partícula, la tierra en el ácido, cuidando que el ataque sea lento y la efervescencia no haga rebosar el contenido. La cápsula seguirá destapada hasta que aquélla haya terminado por completo, y entonces, con una jeringuilla, aventaremos la parte superior de la cápsula para expulsar el último resto de carbónico y hacer que el hueco lo ocupe exclusivamente el aire como en la primera pesada. Entonces taparemos nuevamente y volveremos a pesar. Sumando, al peso de la cápsula con el ácido, el de la tierra, y restando luego de la suma el resultado de la última pesada de la cápsula, la *diferencia* representará el carbónico (CO_2) desprendido durante la operación. Y, como el CO_2 es el 43,97 por 100 del carbonato cálcico, hallaremos éste mediante la proporción:

$$43{,}97 : 100 :: \text{diferencia} : x$$

De donde

$$x = \frac{\text{Diferencia} \times 100}{43{,}97}$$

Para el uso de este mismo procedimiento gravimétrico, hay unos frasquitos especiales (frascos de Mariotte), en cuyo fondo

se echa la tierra, con un depósito para el ácido, al que se abre paso mediante una llave. Pero el autor ha encontrado a estos frascos el inconveniente de que por la diferencia de presiones, se verifican a veces escapes de líquido que, además de inutilizar la operación, estropean la balanza.

En todo lo expuesto, se parte del principio de que todo el carbonato fuera exclusivamente cálcico; y por esto, el resultado se dice que expresa la proporción de carbonatos *medida en carbonato de calcio*. Pero en la tierra puede haberlos también de magnesio o de sodio (y aun de otros cationes, como el hierro). El carbonato de sodio no plantea problema, porque se puede separar por solución en el agua y así determinarse aparte del cálcico. Pero no ocurre lo mismo con el de magnesio, que aún es menos soluble que el de calcio, y que en proporciones menores acompaña frecuentemente a éste. Si en tal caso queremos llegar a una expresión más exacta de la realidad, no tenemos más remedio que determinar por separado el calcio y el magnesio, y entonces puede repartirse el total de carbónico entre ambas bases en proporción de las dosis en que con ellas se combina, como lo hemos hecho atrás, al comentar la proporción de estos elementos en el horizonte IV del perfil St-4, y así llegaremos a un resultado muy aproximado y en la práctica suficiente, aunque no exacto en absoluto. Y es que el análisis del extracto clorhídrico, lo que da es la cal y la magnesia en él contenidos; y los procedimientos últimamente explicados, el carbónico; pero los carbonatos como tales no los encontramos directamente, y hay que deducirlos.

Determinación del sulfúrico y los sulfatos. — Lo que se determina directamente es el sulfúrico (SO_3), y los sulfatos se deducen de él como los carbonatos del carbónico.

La composición molecular de los sulfatos que suelen encontrarse en los suelos, es respectivamente la que a continuación se indica:

	Atomos	Peso atómico	Tanto por ciento en peso
$CaSO_4$ (Sulfato de calcio)	Ca	— 40 07	56 07 — 41,19 por 100 de cal (CaO)
	O	— 16,—	
	O_3	— 48,—	80,07 — 58,81 » » de sulfúrico (SO_3)
	S	— 32,07	
		136.14	100,00

	Atomos	Peso atómico	Tanto por ciento en peso
$MgSO_4$ (Sulfato de magnesio)	Mg	— 24,32	40,32 — 33,49 por 100 de magnesia (MgO)
	O	— 16,—	
	O_3	— 48,—	80,07 — 66,51 » » de sulfúrico (SO_3)
	S	— 32,07	120,39 — 100,00
Na_2SO_4 (Sulfato de sodio)	Na_2	— 46,—	62,00 — 43,64 por 100 de sosa (Na_2O)
	O	— 16,—	
	O_3	— 48,—	80,07 — 56,36 » » de sulfúrico (SO_3)
	S	— 32,07	142,07 — 100,00

La determinación del sulfúrico está fundada en la acción de las sales de bario (cloruro o nitrato) que, en solución, reaccionan con los sulfatos, cambiando cationes. Los de los sulfatos pasan a cloruros o nitratos respectivamente y el anión sulfúrico pasa a sulfato de bario. Así con el sulfato de calcio y el cloruro de bario la reacción es:

$$\underset{\text{(Sulfato de calcio)}}{CaSO_4} + \underset{\text{(Cloruro de bario)}}{BaCl_2} = \underset{\text{(Cloruro de calcio)}}{CaCl_2} + \underset{\text{(Sulfato de bario)}}{BaSO_4}$$

El sulfato de bario es insoluble y se precipita en el fondo del vaso, mientras que los cloruros o nitratos quedan en solución. Filtrando el total, los cloruros o nitratos pasarán el filtro y quedará en él el cloruro de bario.

Reconocer sólo cualitativamente si una tierra tiene sulfatos es sencillísimo. Bastará tratar una pequeña parte de ella por agua destilada, revolviendo bien. Se filtra, y en el filtrado se echan una o más gotas de solución acuosa de cloruro (o nitrato) de bario. Si la tierra contiene sulfatos, se formará un precipitado blanco, más o menos denso, según la proporción de tales sulfatos. Si esta proporción es muy pequeña, infinitesimal, el filtrado se empañará sólo ligeramente de blanco y, al agitarlo, se distinguirá el precipitado como un polvo fino. Pero por poco importante que sea la proporción, la reacción se manifestará con energía. Los sulfatos de sodio y magnesio son muy solubles en el agua; de modo que si se hallan presentes en proporción de dar al suelo carácter salino, la reacción será enérgica y el filtrado se volverá bruscamente blanco y opaco. El sulfato de calcio es poco soluble, de modo que si éste es el único sulfato, la reacción será más débil aunque dicha sal esté en gran propor-

ción. Pero el ácido clorhídrico disuelve mucho mejor el yeso. De modo que si empleando el extracto acuoso del suelo se obtiene una reacción débil, y luego se aplica el mismo tratamiento de la sal de bario a un extracto clorhídrico y la reacción se manifiesta más enérgica, podremos deducir que en la tierra hay yeso.

Esta pequeña solubilidad del yeso en el agua origina una perturbación si queremos, como conviene, obtener por separado la cifra de sulfatos solubles y la del yeso. En efecto. Tomemos dos cantidades de la misma tierra tamizada. Una pongámosla en digestión con agua destilada en proporción de ésta más que suficiente para disolver todos los sulfatos solubles posibles. La otra pongámosla en digestión con ácido clorhídrico en caliente, según el método internacional Hissink-Van Bemmelen. Filtremos luego una y otra, lavando bien el residuo insoluble, para recoger toda la substancia disuelta. Si por el cloruro de bario determinamos el sulfúrico en uno y otro filtrado, la determinación en el extracto clorhídrico nos dará el sulfúrico total de la muestra. La determinación en el extracto acuoso nos dará el sulfúrico de los sulfatos solubles en agua (de sodio y magnesio), más el sulfúrico correspondiente a la pequeña parte del yeso que se ha disuelto en el agua. Es decir, que el sulfúrico de la solución acuosa será algo mayor que el correspondiente a los sulfatos solubles. Y restando esta cantidad del sulfúrico total del extracto clorhídrico, la diferencia resultará menor que la verdadera proporción del sulfúrico del yeso.

Para evitar este inconveniente se puede proceder de dos maneras:

1.ª Se determina en el extracto acuoso la proporción de cal (1). Y, sabiendo que a 41,19 partes, en peso, de cal, corresponden 58,81 de sulfúrico, se deduce la cantidad de sulfúrico correspondiente al sulfato de cal o yeso. La diferencia entre esta cantidad y el total de sulfúrico hallado en el mismo extracto, será el sulfúrico correspondiente a los sulfatos propiamente solubles (de sodio y magnesio).

2.ª Se elimina del extracto acuoso el sulfato de calcio, precipitándolo mediante la adición de alcohol absoluto. Esta precipitación es lenta: exige dejar la solución en reposo un día lo

(1) Esta determinación se explica más adelante.

menos y al siguiente volver a echar alcohol, y así sucesivamente hasta que no se vea enturbiamiento ni precipitado. Entonces el sulfato de calcio precipitado se elimina por filtración. Este método es más sencillo, aunque largo. Para no dejar en el filtro nada de los sulfatos solubles hay que lavar, pero no con agua, porque entonces volveríamos a arrastrar yeso disuelto, sino con alcohol. El yeso precipitado se puede secar y pesar directamente.

Cuando no existen en la muestra sulfatos de sodio o magnesio, el sulfúrico total (que corresponderá en general al yeso) se determina como uno de tantos cuerpos en la solución clorhídrica, sin más complicación.

Cuando las cifras que se buscan como resultado son, no la del *sulfúrico* (SO_3) sino la del yeso; hay que tener en cuenta que éste no es un sulfato de calcio puro (como la fórmula atrás expuesta) sino hidratado.

La composición atómica de este cuerpo según la fórmula

$$\underset{\text{Sulfato de calcio}}{CaSO_4} \ , \ 2H_2O \ , \ \underset{\text{Agua}}{}$$

será:

	Atomos	Peso atómico	Tanto por ciento en peso
$CaSO_4$, $2H_2O$ (Yeso)	Ca	40,07	32,57 por 100 de cal (CaO)
	O	16	
	O_3	48	46,50 » » de sulfúrico (SO_3)
	S	32,07	
	H_4	4,032	20,93 » » de agua (H_2O)
	O_2	32	

Por lo tanto, una vez obtenida la cifra absoluta del sulfúrico correspondiente al yeso, hay que tener en cuenta que dicha cifra es el *58,81 por 100 del sulfato de calcio anhidro*, pero el *46,50 por 100 del yeso.*

Hechas todas estas advertencias, la marcha de la operación para determinar el sulfúrico es la misma, ya se trate de una solución acuosa, ya de una clorhídrica. En el primer caso es conveniente acidularla ligeramente con este mismo ácido. También lo es en todos calentar la solución y operar en caliente. En la solución que contiene los sulfatos se va echando lentamente la solución de cloruro de bario, que según actúa irá originando el precipitado; y se continúa así hasta que la adición de nuevas gotas no cause ya precipitación. Se agita bien y se pone un

breve momento a hervir y luego se deja en reposo lo menos doce horas o, prácticamente, hasta el siguiente día. Entonces se encontrará el precipitado blanco en el fondo de la cápsula, matraz o frasco de Erlenmeyer con que se haya operado y encima el resto del filtrado, transparente. Se vuelven a echar entonces unas gotas de cloruro de bario. Si con ellas se volviera a enturbiar el líquido transparente, sería señal de que aún hay sulfúrico que no ha reaccionado, porque el cloruro de bario no fué suficiente. En tal caso habría que continuar añadiendo, como el día anterior, y dejar otra vez en reposo hasta el siguiente. Cuando la adición de nuevas gotas de cloruro de bario no da ya precipitado alguno, la operación está terminada. Entonces se decanta suavemente el líquido sobre un embudo provisto de un filtro sin cenizas, haciendo caer primero el líquido transparente en el cual se encontrarán las bases de los sulfatos en estado de cloruros disueltos y, por fin, el poso o precipitado, que será el sulfato de bario insoluble. Cuando ha acabado de filtrar el contenido, se lavan el residuo insoluble y el filtro con agua destilada acidulada de clorhídrico, para acabar de recoger todos los cloruros, y luego con agua destilada pura, hasta que el líquido que gotea no dé ya reacción de cloruros (1). Entonces se deja secar el filtro con su contenido, y se calcina todo junto en un crisol de porcelana refractaria o de cuarzo. Después se pesa. Como el filtro arde sin dejar cenizas, el peso hallado será el del sulfato de bario.

La composición atómica y centesimal de este cuerpo es:

	Atomos	Peso atómico	Tanto por ciento en peso
$BaSO_4$ (Sulfato de bario)	Ba	137,4	153,4 — 65,70 por 100 de barita (BaO)
	O	16	
	O_3	48	80,07 — 34,30 » » de sulfúrico (SO_3)
	S	32,07	
			233,47 — 100,00

Por lo tanto, cada cien partes de sulfato de bario corresponderán a 34,30 de sulfúrico.

En el análisis del extracto clorhídrico por el método internacional, se expresa directamente, como hemos dicho, la proporción del sulfúrico. Pero a veces, verbigracia tratándose de sul-

(1) Esta reacción se explica más adelante.

fatos solubles, puede convenir expresar el dato en sulfato, antes de conocer la verdadera proporción de las bases. Para esto elegiremos uno de los tres sulfatos en cuestión, ya el que predomine, ya aquel que se haya adoptado antes para los efectos de la comparación, y que por esto resultará obligado. Supongamos que sea el de magnesio. Sabiendo que cada 66,51 partes, en peso, de sulfúrico, corresponden a 100 de sulfato de magnesio, de la cifra del sulfúrico podremos pasar, mediante sencilla proporción, a la de la sal, y entonces diremos que la muestra contiene tal tanto por 100 de sulfatos, *medidos en sulfato de magnesio*. Con esto no se afirma ningún contenido determinado en tal sulfato, sino que se da simplemente la equivalencia en él del sulfúrico efectivo. Hallando igual dato en distintas tierras, puede así expresarse en forma comparativa la diversa riqueza en sulfatos de cada una.

Determinación de los cloruros.—Los cloruros (compuestos de cloro y un catión metálico) son substancias solubles y, por lo tanto, se determinan en la solución acuosa. El cloruro que más suele encontrarse en las tierras, suele ser el de sodio, que es el que principalmente caracteriza los suelos salinos. El de magnesio suele acompañarle, pero en cantidades mínimas. Los cloruros de potasio constituyen yacimientos muy localizados, que interesan al estudio del suelo porque se utilizan como abonos potásicos, precisamente porque la substancia escasea en muchos suelos cultivados. Medir los cloruros de una muestra suele pues equivaler prácticamente a determinar su proporción de cloruro de sodio.

El reactivo más empleado para los cloruros es el nitrato de plata, cuerpo igualmente soluble en el agua y cuya solución hay que guardar en frascos amarillos o envueltos en papel rojo o negro, para evitar la acción de la luz que altera este cuerpo, coloreando la solución. El nitrato de plata y los cloruros reaccionan cambiando sus cationes. Si se trata, por ejemplo, del cloruro de sodio (que es la sal común), el anión nítrico toma el sodio, formando nitrato de sodio, que queda disuelto, y el anión cloro toma la plata, formando cloruro de plata insoluble, que se manifiesta en espesos grumos. Estos son al principio blanquecinos, pero luego se van depositando en el fondo y tomando color, que varía del violado claro al negro, debido a descomposiciones por efecto de la luz.

La reacción se expresa por esta fórmula:

$$\underset{\text{(Cloruro de sodio)}}{NaCl} + \underset{\text{(Nitrato de plata)}}{AgNO_3} = \underset{\text{(Nitrato de sodio)}}{NaNO_3} + \underset{\text{(Cloruro de plata)}}{AgCl}$$

El ensayo de una muestra de tierra para ver si contiene cloruros es sencillísimo. Basta tomar una pequeña cantidad de ella y tratarla por un poco de agua destilada. Se mezcla bien y puede filtrarse en seguida. En el filtrado se echan una o más gotas de una solución de nitrato de plata, e inmediatamente se verán los grumos. Si la proporción de cloruro es muy pequeña, verbigracia fracciones de milésima, el precipitado no formará más que ligeras nubecillas en el agua, y en el caso de que la proporción sea infinitesimal, la solución del suelo tomará una opalescencia azulada. En este último caso diremos que sólo hay *indicios* de cloruros, y cuando sólo se formen ligeras nubecillas, la proporción tampoco será tal, que el suelo haya de calificarse de salino. Cuando el suelo lo es verdaderamente, según hemos definido este concepto, las gotas de nitrato de plata determinarán un precipitado cuajaroso, denso, que hará opaca la solución.

Para proceder a la determinación cuantitativa, hay que empezar por conocer la composición de los cuerpos que en ella intervienen:

	Atomos	Peso atómico		Tanto por ciento en peso
NaCl (Cloruro de sodio)	Na	23		39 34 por 100 de sodio (Na)
	Cl	35,46		60,66 » » de cloro (Cl)
		58,46		
$AgNO_3$ (Nitrato de plata)	Ag	107,88	107,88	— 63,51 por 100 de plata (Ag)
	O_3	45	62,008	— 36,49 » » de ion nítrico (NO_3)
	N	14,008	169,888	
AgCl (Cloruro de plata)	Ag	107,88		75,26 por 100 de plata (Ag)
	Cl	35,46		24 74 » » de cloro (Cl)
		143,34		

Para operar se prepara primero una solución decinormal de nitrato de plata en agua destilada. Se llama solución normal la que en un litro contiene en gramos el peso molecular del cuerpo disuelto. El peso molecular de un compuesto es la suma de los pesos atómicos de sus componentes (58,46 para el cloruro de de sodio, 169,888 para el nitrato de plata, etc.). Si disolvemos

pues 169,888 gramos de nitrato de plata en agua destilada y seguimos añadiendo agua hasta completar un litro, tendremos una solución normal de nitrato de plata. Un centímetro cúbico de esta solución (que es la milésima parte de un litro) contendrá 169,888 miligramos de nitrato de plata, que, según las composiciones apuntadas y reacción también indicada, equivaldrán a 35,46 miligramos de cloro, y a 58,46 miligramos de cloruro de sodio. Si empleamos sólo la décima parte de nitrato, tendremos una solución decinormal (N/10). En ésta cada centímetro cúbico equivaldrá a 3,546 miligramos de cloro, y a 5,846 miligramos de cloruro de sodio. Esta solución se pone en una bureta, es decir, un tubo angosto, vertical, graduado, con un pico de salida y una llave en su extremo inferior.

Aparte de esto se prepara una solución de cromato potásico al 10 por 100.

La determinación se hace en una solución acuosa del suelo. Como aquí no actúa el yeso en sentido perturbador (aun cuando se halle presente), podemos tener la seguridad de haber extraído de la muestra todos los cloruros realmente separables. Esto ocurrirá cuando, después de filtrar y lavar el contenido del filtro, el agua que de él gotee por el embudo no dé reacción de cloruros (es decir, no forme grumos en una solución de nitrato de plata). Naturalmente que antes hemos tenido que pesar la tierra empleada y determinar su humedad secándola en la estufa, como ya queda explicado; de modo que, al tener la solución filtrada, sabemos a qué peso de tierra seca corresponde. También la parte de solución filtrada que se tome para la determinación hay que saber exactamente cuál es. Por ejemplo: tomamos 10 gramos de tierra seca; y, después de hacer la solución y filtración, añadimos a ésta agua destilada hasta completar un volumen de medio litro (500 centímetros cúbicos); y de éstos tomamos, en un vaso, para la determinación, 50 centímetros cúbicos. El cloruro de sodio contenido en este vaso será la décima parte del total de la muestra, y corresponderá a un gramo de tierra.

Para determinar este cloruro, se acidula ligeramente la solución con una o pocas gotas de ácido nítrico, y se añaden unas cuantas de la solución de cromato potásico, hasta que el líquido tome un color amarillo (algo verdoso o acanariado) algo intenso, que no quitará su transparencia. Entonces se anota la altura a

que llega la solución de nitrato en la bureta; se pone el vaso debajo; y se abre con precaución la llave de modo que el nitrato vaya cayendo en el vaso gota a gota, sin salpicar (lo que originaría alteración de proporciones). Al principio, si se tiene una idea aproximada de la riqueza en cloruros de la solución que se valora, puede dejarse gotear rápidamente y hasta caer en pequeño chorro; pero, según se vaya viendo que la solución toma un color crema opaco, y que cada gota forma al caer una mancha roja, cada vez mayor y más intensa, se debe ir operando con lentitud creciente, revolviendo bien, con una varilla de cristal y examinando el tono del líquido a cada nueva gota que cae. En cuanto se observe que la tonalidad amarilla del líquido se ha trocado en un rosa pálido, se debe suspender la operación cerrando definitivamente la llave. En el vaso se verá entonces que se separan dos porciones: un precipitado caseoso y un líquido otra vez transparente, cuya tonalidad al principio rosado-pálida, se irá trocando en naranja o pardo rojizo. Este tono rojo se debe a la formación de cromato de plata. Esta formación empieza cuando ya no hay cloro que se apodere de la plata para formar cloruro, y la plata del nitrato queda libre para combinarse con el crómico. Por eso el comienzo de este momento, acusado por la tonalidad rosada, indica que se ha terminado el cloro del cloruro y la reacción de éste con el nitrato. Todo el nitrato gastado hasta este momento es el que ha reaccionado con el cloruro, y por eso la cantidad de aquél indica la de éste. Se lee entonces en la bureta el nivel del nitrato. La diferencia entre este nivel y el del comienzo de la operación indicará los centímetros cúbicos de solución de nitrato gastada. Cada uno de estos centímetros ya sabemos que equivale a 3,5 miligramos de cloro o 5,8 miligramos de cloruro de sodio. Multiplicando pues aquellos centímetros por estas cifras, obtendremos los miligramos de cloro o de cloruro que contenía el vaso, y de esta cifra (multiplicada por 10 en el caso supuesto) deduciremos el contenido total de la muestra analizada.

Por muy minuciosa que sea la preparación de la solución de cinormal de cloruro de plata, cabe en lo posible que luego se altere ligeramente, verbigracia por influencia de la luz (de la cual hay que mantenerla a cubierto), lo que se acusará por un ligero color amoratado o por la aparición de partículas negras muy menudas, que son precipitaciones de plata. Por esto, para ope-

rar con exactitud, conviene comprobar previamente la solución, operando (antes que con el extracto del suelo) con otra solución normal de cloruro de sodio, exacta, que se coloca en otra bureta. Si el número de centímetros cúbicos de uno y otro reactivo empleados hasta obtener el viraje en la forma indicada, no coincidiera exactamente, se anota la corrección del caso que hay que hacer en la solución de nitrato, y se tiene en cuenta al hacer el cálculo final. De esta corrección resultará que, en vez de corresponder cada centímetro cúbico de solución de nitrato a 5,846 miligramos exactamente, corresponderá a una cantidad algo diferente, verbigracia 5,71; y por este factor es por el que habrá que multiplicar al final. Esta cifra se apunta en la etiqueta del frasco en que se guarde la solución, y asimismo la proporción y gotas de cromato empleadas para valorarla, con objeto de emplear las mismas en las investigaciones sucesivas

El resultado de la determinación puede expresarse en cloro o en cloruro: en este caso *se expresa en cloruro de sodio,* que es el más abundante y general.

Determinación de la suma de sesquióxidos. — Esta operación es la primera que se hace en la solución clorhídrica del método internacional, después de haber separado la sílice (por el hidróxido de potasio según la base cuarta del acuerdo de Wáshington).

Tratando la nueva solución clorhídrica, que llamaremos para mayor claridad solución A, por el amoníaco, se precipitan en copos: la alúmina (Al_2O_3) y el óxido de hierro (Fe_2O_3), que representan la mayor parte o casi totalidad de la masa, el fosfórico, el titánico y una parte del manganeso. Cómo ya se ha dicho, sólo en el caso de que el hierro no fuese suficiente para retener todo el fosfórico en estado de fosfato, se precipitaría también, como base del fosfato, un poco de cal. Pero ya sabemos que el fosfórico se halla en proporciones muy escasas en los suelos, y en cambio el hierro abunda mucho más; de modo que el caso expuesto es rarísimo y prácticamente podemos aquí prescindir de él. El titánico y el óxido de manganeso figuran también en los suelos en proporciones mínimas y en muchos casos faltan. En la inmensa mayoría de los casos no produce pues error sensible el prescindir de ellos.

El hecho de la precipitación de los sesquióxidos es de observación muy sencilla. Basta echar en un tubo de ensayo un poco

del extracto clorhídrico del suelo, y añadir unas gotas de amoníaco concentrado. Se agita el tubo tapando con el dedo, e inmediatamente se verá en su contenido la formación de copos de un color amarillo o rojizo, tanto más intenso, cuanto más hierro contenga la muestra. Dejando el tubo en reposo, la masa coloide irá cayendo y reuniéndose en el fondo del tubo, dejando el resto del líquido otra vez transparente e incoloro. Esta observación cualitativa se puede hacer sin necesidad de preparar el extracto clorhídrico en caliente según las normas internacionales. Basta simplemente tratar un poco de tierra por ácido clorhídrico en frío, y filtrar. Si hacemos esto con muestras de suelo de diferentes niveles de un mismo perfil, empleando siempre las mismas cantidades de tierra (en peso) y de ácido y amoníaco, medidas más cómodamente en soluciones, y dejamos luego quietos los tubos de ensayo en la gradilla, podremos apreciar que no en todos se produce la misma abundancia de precipitado coposo; y cuando las diferencias aparezcan suficientemente marcadas, podremos apreciar en qué niveles se ha producido principalmente la acumulación de coloides, dato de primera importancia para la clasificación de suelos.

La determinación cuantitativa exige detalles más delicados. Hay que empezar por tomar del extracto clorhídrico, preparado según el método internacional, una cantidad adecuada al objeto que nos proponemos. Para los suelos más o menos ricos en cal (es decir, que dan manifiesta efervescencia con los ácidos), se tomará menos; para los pobres en cal, más. La solución se extenderá con agua destilada para aumentar en lo posible la dispersión de las substancias disueltas y por lo tanto el contacto con el reactivo, que en este caso es el amoníaco; pero la medida de esta extensión dependerá de la concentración que tenga el extracto primitivo. La solución debe estar sólo ligeramente ácida. Para conseguirlo se neutraliza echando amoníaco gota a gota. El amoníaco originará ya (en la pequeña medida de una gota) cierta precipitación de coloides; pero éstos se disolverán en seguida en el exceso de ácido. Cuando el precipitado que se forme con la última gota de amoníaco añadida, tarde varios segundos en desaparecer por redisolución, será señal de que el líquido es ya poco ácido y está a punto. Si nos hemos pasado de lo justo en la adición de amoníaco, lo que se conocerá porque habrá algo de grumos o empañamiento que no desaparece,

echaremos más ácido clorhídrico, hasta obtener de nuevo el líquido transparente.

Así preparada la solución, se pone a calentar hasta que hierva, y entonces se le va echando amoníaco, lentamente, y agitando siempre con una varilla de vidrio, hasta que se acaben de precipitar los sesquióxidos. Entonces se deja hervir unos minutos más para expulsar el exceso de amoníaco. Y, por fin, se filtra el contenido del recipiente, usando un embudo grande y un filtro sin cenizas.

No es conveniente dejar que los sesquióxidos precipitados permanezcan más o menos tiempo depositados en el fondo del recipiente, porque entonces dejarán una capa adherida al cristal (o a la porcelana) que acarreará el problema de su separación mediante nueva disolución por el ácido, reprecipitación, etcétera. Mientras se filtra se debe lavar con agua caliente amoniacal, llevando el dardo de líquido (con el frasco lavador) por el borde del precipitado, para separarlo del papel y facilitar la rapidez de la operación. Por fin se lavará con agua, hasta que la que gotee del filtro no dé reacción de cloruros (es decir, no produzca grumos al caer en una solución de nitrato de plata). Entonces se tendrá la seguridad de que todos los cloruros han pasado al líquido filtrado, al que llamaremos *solución B.*

Si se quiere extremar la escrupulosidad, la suma de precipitados que ha quedado en el filtro se vuelve a disolver con clorhídrico, y de esta solución se vuelve a precipitar con amoníaco de la misma manera. En este caso se debe volver a utilizar, si es posible, el mismo filtro; pero si éste se hubiese estropeado, se guarda para calcinar con el segundo que se emplee.

Esta es la última operación que se hace después de secar el filtro y el precipitado. Ya secos, se separan uno de otro sobre un platillo o cápsula. Se incinera primero el filtro (al que irá adherida cierta cantidad de precipitado), y luego se añade en el mismo crisol el grueso del precipitado que se separó. La ignición se empieza lentemente hasta llegar al final al rojo vivo. La prueba de que la operación está ultimada será que, en dos pesadas consecutivas (después de enfriado), el residuo da sensiblemente el mismo valor (una diferencia menor de 5 diezmiligramos se desprecia). El total pesado representará la suma de

los cinco cuerpos arriba expresados, de que la casi totalidad corresponde a los sesquióxidos de aluminio (Al_2O_3), llamado también alúmina, y de hierro (Fe_2O_3), es decir, dos elementos del complejo coloide sialítico o alofánico.

Con esta cifra, referida en centésimas al total de tierra seca, y la que análogamente hayamos encontrado para la sílice soluble, podremos ya sacar consecuencias sobre la riqueza del suelo en dicho complejo coloide y su distribución en los distintos niveles, pues el fosfórico, el titanio y el compuesto mangánico, no sumarán, en la mayoría de los casos, ni un medio por ciento entre los tres.

Para llegar a cifras precisas, el procedimiento es determinar cada uno de sus componentes menos la alúmina, y ésta calcularla por diferencia, es decir, restando del peso de la *suma bruta de sesquióxidos* los valores de cada uno de los demás componentes. De éstos, el fosfórico se determina aparte, en una porción de la solución primitiva o extracto clorhídrico del suelo, privado de sílice. El hierro y el titanio se determinan sucesivamente de la suma bruta de sesquióxidos. En cuanto al manganeso, debe advertirse que este cuerpo actúa como trivalente y como bivalente. El trivalente resulta también precipitado, como hidróxido, en el tratamiento por el amoníaco; mientras que el bivalente queda en la solución B, donde el precipitado de sesquióxidos y el exceso de amoníaco han venido a añadir a los cloruros preexistentes y no precipitados, el de amonio. En este caso el manganeso total hay que determinarlo en una porción, aparte, de la *solución A*. El resultado se obtiene en ácido manganoso-mangánico (Mn_3O_4).

En lugar de actuar con el amoníaco (como se hace ordinariamente), la precipitación de los sesquióxidos puede hacerse también, en caliente, mediante el acetato amónico. Este procedimiento tiene la ventaja de que no precipita nada de manganeso, que queda así totalmente en el filtrado; lo que facilita la cuenta exacta de la alúmina.

Para determinar el hierro y el titanio partiendo de la suma bruta de sesquióxidos, hay que volver a disolver ésta. Si no hay titanio, y sólo hay que determinar el hierro, la solución se hace esta vez con ácido sulfúrico. Si hay que determinar luego titanio, el procedimiento es más complicado, pues tiene que preceder a la solución un tratamiento de fusión con pirosulfato potásico.

La determinación del hierro puede hacerse también aparte en una porción de la *solución A*.

El simple reconocimiento de la presencia y abundancia (relativa) del hierro, es tan sencillo como el ensayo cualitativo de los sesquióxidos en conjunto, atrás descrito. Basta tomar en un tubo de ensayo un poco del extracto clorhídrico del suelo (aun cuando sea preparado en frío y rápidamente): echando en el tubo una o más gotas de una solución de sulfocianuro potásico, el extracto tomará un tono rojo de sangre o granate, tanto más intenso, cuanto mayor sea la proporción de hierro. Si, en vez de sulfocianuro potásico, echamos ferrocianuro, se formará en los tubos un precipitado azul intenso de ferrocianuro férrico (vulgarmente «azul de Prusia»). Si hacemos varias preparaciones de esta índole con las mismas cantidades de tierra (ésta muy pequeña), ácido disolvente y gotas de reactivo, podremos muchas veces apreciar, por la intensidad del tono rojo (con el sulfocianuro) o la cantidad de precipitado (con el ferrocianuro), la mayor o menor riqueza férrica de las muestras ensayadas, si las diferencias son bastante sensibles. Esta apreciación colorimétrica tiene sin embargo un límite. Con el sulfocianuro, verbigracia, se llega pronto a las grandes intensidades de coloración, y con ellas la gradación de dosis acaba por hacerse imposible de apreciar. Para utilizar como procedimiento colorimétrico la acción de estos reactivos hay que emplear soluciones sumamente diluidas, y en este caso se presenta la dificultad de la exactitud; pues, debiendo multiplicar los resultados por cifras muy grandes, los errores se agrandan en igual medida.

El procedimiento ordinariamente empleado para la determinación cuantitativa del hierro, encierra ya cierta complicación, y no tendría objeto describir aquí su detalle. Indicaremos solamente que consta de dos partes. La primera tiene por objeto hacer que el hierro que se encuentre en estado de compuesto férrico (Fe_2O_3), que es la forma estable ordinariamente presente en el suelo, pase al estado ferroso (FeO). Esto se consigue sometiendo la solución ferrífera a la acción del hidrógeno naciente, que se obtiene mediante la reacción del ácido sulfúrico con el cinc. La segunda consiste en tratar la solución que contiene el hierro en estado ferroso, por otra de permanganato potásico. Este compuesto tiene la propiedad de ceder oxígeno al compuesto ferroso hasta transformarlo en férrico. Al verificarse esta reacción, pier-

de el permanganato el color rosado intenso que le caracteriza, volviendo a recobrarlo cuando, cesando la reacción, recobra él su estabilidad. Empleando el hierro en estado de sulfato, con un exceso de ácido sulfúrico, que es como se hace la preparación, la reacción se expresa del modo siguiente;

$$2KMnO_4 + 10FeSO_4 + 8H_2SO_4 = 5Fe_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 8H_2O$$

(Permanganato potásico) (Sulfato ferroso) (Ácido sulfúrico) (Sulfato férrico) (Sulfato potásico) (Permanganato potásico) (Agua)

La solución de permanganato se coloca en una bureta (como la de nitrato de plata en la determinación de los cloruros), y se deja caer gota a gota en la solución que contiene el hierro ferroso. Cuando en ésta el tono rosado originado por el permanganato se conserve un rato, verbigracia dos minutos, será señal de que ya no queda compuesto ferroso a quien ceder oxígeno; y que, por lo tanto, la operación está terminada. Entonces se lee en la bureta la altura a que llega la solución de permanganato, de donde se deduce la que en la operación se ha gastado, y de ella la de hierro a que corresponde.

Para que esto último sea posible, es necesario que la solución de permanganato que se emplea haya sido previamente valorada, es decir, que sepamos cada centímetro cúbico de solución de permanganato a qué peso de hierro corresponde. Esto se puede obtener actuando primero con una solución ferrosa preparada por nosotros mismos, de modo que conozcamos exactamente su contenido de hierro. De todos modos la preparación del permanganato es operación delicada, cuyo detalle debe buscarse en los tratados de Química analítica.

Si en la solución o extracto del suelo hubiese a la vez compuestos ferrosos y férricos, se hacen dos determinaciones en dos porciones diferentes de la solución: una con el tratamiento previo por el hidrógeno, para obtener el hierro total; y otra sin dicho tratamiento previo, con que obtendríamos el hierro ferroso (si lo hubiera): el hierro férrico será en este caso la diferencia.

Determinación de la cal. — El reactivo más ordinariamente empleado para revelar el calcio, es el oxalato amónico, que reacciona con los compuestos de calcio formando oxalato de cal, soluble en los ácidos minerales e insoluble en los orgánicos. Si tenemos el calcio en forma de cloruro, como

ocurre en el extracto por el método internacional, la reacción será:

$$CaCl_2 + \begin{matrix} COONH_4 \\ | \\ COONH_4 \end{matrix} = \begin{matrix} COO \\ | \\ COO \end{matrix}\!\!>\!\!Ca + 2\,NH_4\,Cl$$

(Cloruro de calcio) (Oxalato amónico) (Oxalato de calcio) (Cloruro amónico)

Si no hay ácidos minerales, el oxalato de calcio se precipitará en una masa polvoriento blanca.

La determinación cuantitativa se hace en la *solución B*, resultante de eliminar los sesquióxidos con el fosfórico, titánico, etcétera. Este filtrado se reduce de volumen, mediante evaporación, según lo extendido que estuviere y la riqueza en cal que aproximadamente pueda contener la tierra. La solución debe ser neutra o alcalina, es decir, no alterar en el sentido del rojo el papel violado de tornasol. En caso contrario se alcaliniza ligeramente añadiendo amoníaco. Para favorecer la reacción se añade una pequeña cantidad de solución de cloruro de amonio (verbigracia 15 a 20 centímetros cúbicos de solución normal para un cuarto o un tercio de litro de líquido). Se calienta éste hasta la ebullición, y lo mismo la solución de oxalato amónico, que ha de ser concentrada. Entonces se va echando ésta en la primera gota a gota, y revolviendo con la varilla de vidrio. Cuando se juzga terminado el precipitado, se comprueba con una nueva gota de oxalato. Se deja reposar, verbigracia hasta la tarde si se opera por la mañana, o hasta el día siguiente si es por la tarde. Se decanta el líquido claro sobre un filtro sin cenizas, recogiéndose cuidadosamente el filtrado (que llamaremos *solución C*) sin perder ni una gota. El precipitado de oxalato cálcico que ha quedado en el vaso se lava con una solución diluída caliente de oxalato amónico, para contrarrestar la pequeña solubilidad del oxalato de calcio en el agua (que es de 0,0015 por 100 a 95°). Se vuelve a decantar sobre el mismo filtro y solución C; y se repite el lavado y consiguiente decantado otro par de veces. Entonces se echa también en el filtro el precipitado, y se lava con el agua de oxalato amónico caliente. La operación se da por terminada cuando se comprueba (con la consabida solución de nitrato de plata) que el agua que gotea está en absoluto libre de cloruros. Entonces ha quedado completada la *solución C*, que se reserva para lo que pronto veremos. El filtro con su contenido se seca; se vierte

el contenido seco en una cápsula; se calcina el filtro (con la porción de precipitado adherente a él) y a continuación se calcina, en el mismo crisol, el precipitado seco. Como resultado de la calcinación se desprenden gases carbónicos (óxido y bióxido o anhídrido carbónico), y queda sólo la cal, según la siguiente reacción:

$$\begin{matrix} COO \\ | \\ COO \end{matrix}\!\!>\!Ca = CaO + CO_2 + CO$$

(Oxalato de calcio) (Cal) (Anhídrido carbónico) (Oxido de carbono)

El peso del residuo de la calcinación es pues el de la cal.

Para la determinación del calcio hay también otro método, fundado en el acetato de sodio, que se recomienda cuando se quiere determinar después el manganeso; pues éste no se puede precipitar en presencia de sales de amonio.

Determinación de la magnesia. — La magnesia se determina en la *solución C,* o sea el filtrado que queda después de separar el calcio. En este filtrado el magnesio se encuentra en estado de cloruro. El reactivo que se puede emplear es el fosfato amónico, que reacciona con el cloruro de magnesio, originando fosfato amónico-magnésico y cloruro amónico:

$$MgCl_2 + (NH_4)_3\,PO_4 = \begin{matrix} Mg \\ NH_4 \end{matrix}\!\!>\!PO_4 + 2\,NH_4Cl$$

(Cloruro magnésico) (Fosfato amónico) (Fosfato amónico-magnésico) (Cloruro amónico)

Para operar se empieza por concentrar la solución mediante evaporación a un calor suave, reduciéndola por ejemplo a 100 o 200 centímetros cúbicos. Se añade un poco de ácido clorhídrico para que la solución resulte ligeramente ácida (lo que se puede probar con papel de tornasol). Se añade la solución de fosfato amónico en exceso. Para asegurarse de que la solución no se ha hecho alcalina, se aplica el papel de tornasol rosa, que no ha de amoratarse ni menos azulear, o se echan unas gotas de fenolftaleína y se comprueba que no toma color. En caso contrario hay que volver a acidular con clorhídrico. Por fin se calienta hasta la ebullición. Cuando está caliente se añaden gotas de solución de amoníaco al 10 por 100, agitando bien, hasta obtener una coloración permanente. Se deja enfriar. Se añade

más amoníaco agitando enérgicamente, y se filtra. El filtrado se vuelve a lavar con agua amoniacal más débil (verbigracia al 2,5 por 100) hasta comprobar (con el nitrato de plata) que el agua que gotea del filtro carece de cloruros. Entonces se deja secar el filtro con su precipitado, y se calcina de igual modo que en la determinación de la cal. En esta calcinación el fosfato amónico-magnésico se descompone: se desprenden amoníaco y vapor de agua, y en el crisol queda únicamente pirofosfato magnésico:

$$2\begin{matrix} Mg \\ NH_4 \end{matrix}\!\!>\!PO_4 = Mg_2(P_2O_7) + 2NH_3 + H_2O$$

(Fosfato amónico-magnésico) (Pirofosfato magnésico) (Amoníaco) (Agua)

La composición del pirofosfato magnésico es:

$$\left.\begin{matrix} Mg_2 - 48{,}64 \\ O_2 - 32 \end{matrix}\right\} \quad 80{,}64 = 36{,}21 \text{ por 100 de magnesia } (2MgO)$$

$$\left.\begin{matrix} O_5 - 80 \\ P_2 - 62{,}08 \end{matrix}\right\} \quad \frac{142{,}08}{222{,}72} = 63{,}79 \text{ por 100 de anhídrido fosfórico } (P_2O_5)$$

Luego el 36,21 por 100 del peso hallado será el de la magnesia.

Como reactivos para determinación del magnesio se emplean también el fosfato disódico y el hidrofosfato doble de amonio y sodio.

Determinación de las varias sales solubles de un suelo salino.—En muchos suelos salinos, verbigracia en muchos de los de España, se presentan a la vez varias sales solubles, como cloruro de sodio, sulfato de sodio y sulfato de magnesio, además del yeso y de una proporción muy pequeña de cloruro de magnesio. Con las nociones que acabamos de exponer podremos determinar todas estas sales.

Para ello empezaremos por tratar la muestra pesada (10 gramos por ejemplo de peso seco) por un exceso de agua en caliente, de modo que haya más de la necesaria para disolver la menos soluble de las sales solubles en cantidad de peso igual al de la muestra total. Luego filtraremos y lavaremos repetidamente el residuo con agua destilada, que iremos recogiendo con todo el filtrado. Sometiendo una gota del último lavado a la prueba del nitrato de plata, si efectivamente no da grumos ni

nubes, nos convenceremos de que todos los cloruros que había en la muestra se hallan en el filtrado. Pero no podremos hacer igual prueba respecto de los sulfatos (con la sal de bario) porque, siendo el yeso ligeramente soluble, y no habiéndose disuelto sino en pequeña parte, siempre los lavados arrastrarán nuevas porciones de él.

Aquí no se trata de determinar el yeso, sino de eliminarlo o separarlo de la cuenta de las sales solubles. Podemos eliminarlo de la solución, precipitándolo con alcohol absoluto y volviendo a filtrar. Pero podemos igualmente eliminarlo en la cuenta, del siguiente modo. Los elementos que tenemos que determinar y que integran el total de sales disueltas son:

cloro
sulfúrico
calcio
magnesio
y sodio.

Hay que tener siempre en cuenta lo que, por concepto de oxígeno (O), hemos de añadir o quitar cuando nos convenga pasar de las cifras del calcio, magnesio o sodio a las de sus óxidos (cal, magnesia o sosa), o inversamente. Para esto y para la cuenta que sigue tendremos presente la composición atómica y centesimal de estos sulfatos y cloruros que queda en las páginas anteriores detallada.

En diversas porciones de la solución acuosa, y apuntando siempre qué porciones son respecto del total, determinaremos sucesivamente por los métodos expuestos, el cloro, el sulfúrico, la cal y la magnesia, y referiremos los resultados a la solución total. (Si para cada determinación hemos tomado un décimo de la solución total, por ejemplo, multiplicaremos cada resultado por 10.) De las cifras de la cal (CaO) y la magnesia (MgO) pasaremos fácilmente a las del calcio (Ca) y magnesio (Mg), restándoles las proporciones respectivas de oxígeno. La determinación del sodio es una de las más difíciles de la química. Pero aquí podemos prescindir de ella en el cálculo aproximado de que se trata (suficiente para fines prácticos). En igual sentido, despreciaremos la mínima cantidad eventual de cloruro de magnesio. Y sobre estas bases podemos calcular como sigue:

El cloro lo atribuiremos totalmente al cloruro de sodio. Sabiendo que a 60,66 partes en peso de cloro corresponden 39,34

de sodio, deduciremos la cantidad de sodio combinado con el cloro.

El calcio corresponderá totalmente al sulfato. Por lo tanto, del total de sulfúrico hallado rebajaremos la parte correspondiente a la cal (no calcio) hallada, sabiendo que a 58,81 partes de sulfúrico corresponden 41,19 de cal.

El magnesio lo atribuiremos íntegramente al sulfúrico. Sabiendo que a cada 66,51 de sulfúrico corresponden 34,49 de magnesia, deduciremos la parte de magnesia que corresponde al sulfato (cometiendo a sabiendas el pequeño error de prescindir del magnesio que se halle en estado de cloruro).

Restando del sulfúrico total determinado las partes que corresponden al sulfato de calcio y al de magnesio, nos quedará todavía un excedente de sulfúrico. Este corresponderá al sulfato sódico. Como sabemos que, en esta sal, a 56,36 partes (siempre en peso) de sulfúrico, corresponden 43,64 de sosa, podremos deducir la sosa que estaba combinada con el sulfúrico.

Entre el sodio de esta sosa y el del cloruro, tendremos el total de sodio sin haberlo determinado directamente.

Prescindiendo, por fin, de la cantidad que haya resultado para el sulfato de calcio, tendremos averiguadas de un modo muy aproximado las cantidades de sales solubles del suelo: cloruro de sodio, sulfato de calcio y sulfato de magnesio.

Si hubiese álcali negro o sea carbonato de sodio, también la determinación sería posible. Este carbonato es el único soluble que suele presentarse en los casos corrientes. Determinando el carbónico por el procedimiento que ya conocemos, se le asignaría la parte correspondiente de sosa, sabiendo que corresponden 58,49 de ésta a 41,51 de carbónico.

(Si además hubiese nitratos, ya no nos bastaría con lo dicho hasta aquí; pues del nitrógeno trataremos a continuación.)

Conviene sin embargo advertir que el cálculo expuesto, que aparece muy fácil en teoría, no lo resulta tanto en la práctica, porque la solución acuosa puede arrastrar, además de las sales solubles y del yeso, algo del complejo coloide y de sus bases y demás elementos de adsorción, y aun (en proporciones mínimas) de otros componentes del suelo que vienen a perturbar la cuenta.

Determinación de los fertilizantes. — La potasa, el nitrógeno

y el fosfórico exigen determinaciones especiales, y en muchos laboratorios continúan éstas haciéndose, no en el extracto clorhídrico del método internacional, sino en otro distinto. Los que continúan empleando los métodos llamados de las estaciones agronómicas francesas, tratan las muestras de tierra, para dosificar la potasa o el fosfórico, por el ácido nítrico en caliente durante cinco horas. Esto no es lo mismo que tratarlo por el clorhídrico durante una. Por lo tanto las cifras obtenidas por el primer procedimiento no son rigurosamente comparables con las que figuran en los cuadros de análisis del método internacional. Muchos de esos laboratorios no han empezado tampoco a emplear el método internacional, y sus análisis químicos se limitan a determinar estas tres substancias fertilizantes y la cal. Cualesquiera que sean las opiniones sobre el modo de encontrar las mejores características de la fertilidad de un suelo, y los procedimientos a que ello dé lugar, el análisis del extracto clorhídrico por el metodo internacional sería de desear que se hiciera siempre, con la determinación de todos los elementos, para tener así base uniforme de comparación. Si las escalas de proporciones de estas tres substancias en relación con las condiciones de productividad del suelo, se hacen sobre la base de las determinaciones en el extracto clorhídrico, no podremos medir por ellas el valor de los resultados obtenidos mediante el ácido nítrico. Estos darán probablemente cifras mayores, y, con relación a aquéllas, nos harán juzgar el suelo mejor de lo que es, y menos necesitado de abonos de lo que lo está.

Las dosis en que la potasa, el fosfórico y el nitrógeno figuran en el suelo, son, como ya hemos visto, muy pequeñas: las tres juntas distan a menudo de sumar un 1 por ciento (salvo cuando se trata de suelos salinos en los que figuran en estado de sales solubles). Pero la cuantía exacta de esta pequeña proporción es muy importante; pues de unas centésimas por ciento más o menos, puede resultar su respectiva suficiencia o insuficiencia para las necesidades de la vegetación, sobre todo cultivada. Esta cuantía debe pues determinarse con el súmmum posible de precisión. Por esto y por ser además los procedimientos de análisis harto complicados, sólo pueden efectuarse tales determinaciones en laboratorios adecuadamente organizados y provistos de personal técnico especializado. Sería pues inútil exponer aquí su detalle. Por eso nos limitamos a dar una simple noticia de los métodos.

Para la determinación del potasio el más exacto y experimentado es el del cloruro de platino. Este cuerpo puede formar, con los álcalis, sales dobles de platino y álcali. La que tiene por álcali el potasio es insoluble en el alcohol concentrado, y las otras son solubles, pudiéndose así separar. Si tenemos pues únicamente la de potasio y la de sodio, podremos obtener primero el precipitado de la suma de ambas, y luego el de la de potasio; de modo que, por la diferencia, deduciremos el peso de la del sodio. Y de la proporción respectiva del potasio (K) y del sodio (Na) en las sales, la que corresponde a sus óxidos: potasa (K_2O) y sosa (Na_2O). En realidad con el cloruro de platino puede operarse de varios modos, de manera que el procedimiento se divide en varios métodos (1).

La determinación del fosfórico exige distinto método según que este cuerpo se halle en solución alcalina o en solución ácida.

En el primer caso, y siendo la solución alcalina precisamente amoniacal, se puede tratar directamente por la llamada *mixtura magnesiana* en presencia del citrato amónico (método de Böttcher-Wagner) (2). Como resultado final se obtiene el fosfórico en forma de fosfato amónico-magnésico, cuerpo de que ya hemos hablado al tratar de la determinación de la magnesia (véase página 90).

En solución ácida hay que obtener un producto que sea insoluble en el ácido correspondiente. Como disolvente se emplea

(1) Su detalle puede verse en: H. NEUBAUER y W. SCHNEIDER, en «Zeitschrift für Pflanzenernährung und Düngung», 1922, págs. 337 y 338; PAUL EMERSON: *Soil characteristics*, Nueva York, 1925; L. REBELLO DA SILVA: *Elementos de análisis agrícola*, Madrid, 1901 (Trad. esp.); y las *Instrucciones Oficiales para el análisis de tierras* de la Estación Agronómica Central de Madrid, 1927. E. A. MITSCHERLICH es autor de un nuevo método sin cloruro de platino y más breve, que aún se ha usado poco. Se expuso por primera vez en E. A. MITSCHERLICH, K. CELICHOWSKI y H. FISCHER: *Eine quantitative Bestimmung kleiner Mengen von Kalium*, «Landw. Versuchstationen», 1911 (tomo LXXVI, págs. 139-155) y 1912 (tomo LXXVIII, págs. 75-82), y luego en la obra del primero, *Bodenkunde für Land- und Forstwirte*, Berlín, 1923. Con menos exactitud que con el cloruro de platino, puede también determinarse la potasa, en solución clorhídrica, mediante el ácido perclórico, que lleva las bases alcalinas y alcalino-térreas al estado de percloratos, que se precipitan. Luego el perclorato potásico se aísla por el alcohol, que disuelve los otros. Si se han eliminado antes las bases alcalino-térreas, la sosa se determina también por diferencia, como en el método del cloruro de platino.

(2) La mixtura magnesiana es una mezcla de clorhidrato amónico, cloruro magnésico, amoníaco y agua. Para ella suelen darse las proporciones de 35, 25, 175 y 325 gramos respectivamente.

el nítrico, y como reactivo el molibdato amónico (método de Lorenz).

Pero ambos métodos pueden combinarse, y así, partiendo de un medio ácido, podemos también llegar a obtener el fósforo en forma de fosfato amónico-magnésico, que, por calcinación, se transforma, como ya sabemos (pág. 91), en pirofosfato magnésico ($Mg_2P_2O_7$).

Para esto se parte de una solución nítrica. El extracto clorhídrico del método internacional se puede transformar fácilmente en nítrico, evaporando a sequedad la parte que de él se tome, y disolviéndola luego con el ácido nítrico.

En la primera parte del proceso se aplica el molibdato amónico (1); y se obtiene como resultado el ya dicho fosfomolibdato, que es un precipitado amarillo.

En la segunda parte se disuelve este precipitado en una solución amoniacal; y entonces se le puede aplicar el procedimiento de la mixtura magnesiana, para llevar el fósforo a fosfato amónico-magnésico, que por calcinación se reduce a pirofosfato ($Mg_2P_2O_7$). En éste ya sabemos (pág. 91) que, de cada cien partes del total, corresponden 63,79 al anhídrido fosfórico, que es el cuerpo que se busca.

A partir del fosfomolibdato, la determinación del fosfórico puede hacerse también volumétricamente.

Recientemente se ha dado, por Wrangell, un método colorimétrico para la determinación del fosfórico (2). Como todos los de esta índole, consiste en hacer preparaciones coloreadas de las soluciones que se van a investigar, y compararlas con otras en que la substancia que se investiga se halle en proporciones conocidas. Las líneas generales del procedimiento son las siguientes.

Como reactivos se usan:

1. Solución molíbdica: una mezcla, a volúmenes iguales, de ácido sulfúrico concentrado, y solución al 10 por ciento de molibdato amónico.

(1) La fórmula de preparación no es exactamente la misma en todos los autores: Emerson prescribe disolver 100 gramos de ácido molíbdico en una solución amoniacal de 144 cm.³ de amoníaco, de peso específico 0,90, en 271 de agua destilada; y echar luego el conjunto en una solución de 483 cm.³ de ácido nítrico de peso específico 1,42, en 1.148 de agua.

(2) W. v. Wrangell: *Kolorimetrische Methode zur schnellen Bestimmung von Phosphorsäure in sehr verdünnten Lösungen.* «Proceedings» de la Soc. Inter. de la Ciencia del Suelo, 1927-8, III, 2, p. 78.

2. Solución, recién preparada, al 1 % de cloruro de estaño.

Se prepara la solución de fosfato de modo que contenga de 0,01 a 0,04 miligramos, aproximadamente, de fosfórico (P_2O_5). Se toman 90 centímetros cúbicos de esta solución, y se tratan por 1,5 centímetros cúbicos de la solución molíbdica y 0,75 del cloruro de estaño. Se eleva el total a 100 centímetros cúbicos, y se agita. En seguida se produce una coloración azul, que suele llegar al máximo de intensidad correspondiente a los cinco minutos.

Hay que añadir las siguientes advertencias. La solución tipo debe diferir poco, en cuanto a la proporción de fosfórico, de la que se estudia; pues la proporción directa entre color y concentración sólo se verifica dentro de estrechos límites. En soluciones con menos de 0,01 miligramo de fosfórico en 100 centímetros cúbicos, se pone sólo la mitad del reactivo molíbdico y de cloruro de estaño. Las sales neutras en proporciones moderadas no influyen en el fenómeno. En cambio la presencia de oxidantes perturba el efecto reductor del cloruro de estaño; y la de flúor perturba la coloración azul.

La determinación del nitrógeno se hace independientemente del extracto clorhídrico; pues la mayor parte de aquel cuerpo se encuentra en la materia orgánica. Como ya atrás se indicó, las proporciones de nitrógeno amoniacal y nítrico son en los suelos insignificantes (salvo casos especiales, como para el nítrico los suelos salinos con nitratos). Aunque el estado nítrico es, para el nitrógeno, el asimilable, la pequeñez de las proporciones no es a propósito para graduar por este concepto el valor de los suelos. Por esto, en lugar de buscar su expresión en la dosis de nitrógeno asimilable en un momento dado, se prefiere tomar como base la riqueza potencial y duradera, que es la correspondiente al nitrógeno en forma orgánica; pues de éste se han de derivar luego, por sucesiva acción microbiana, el amoniacal, el nitroso y por fin el nítrico.

El procedimiento preferido para la determinación del nitrógeno orgánico es el de Kjeldahl, que consta de tres partes:

1.ª Extracto.
2.ª Destilación.
3.ª Valoración.

La que corresponde a la química especial edafológica es la primera. El extracto se hace sometiendo la muestra de tierra

a la acción del ácido sulfúrico concentrado, en caliente, que descompone la materia orgánica, haciendo pasar al carbono (C) a anhídrido carbónico (CO_2), a parte del hidrógeno (H) a agua (H_2O), y al nitrogeno (N) y parte del hidrógeno (H) a amoníaco (NH_3). Este último se combina con la parte proporcional del exceso de sulfúrico (H_2SO_4), y resulta sulfato amónico $[(NH_4)_2SO_4]$.

Para que este proceso se verifique con energía y extraiga todo el nitrógeno del suelo, hay que proceder con una porción de detalles. La cantidad de tierra que se somete al análisis no ha de contener más de un decígramo de nitrógeno, de modo que para suelos mediocres o pobremente dotados podremos tomar de 5 a 10 gramos; pero para suelos muy humíferos no podremos tomar sino, todo lo más, un gramo. El ácido sulfúrico se emplea, para mayor eficacia, en forma de fosfosulfúrico, que contiene, por cada litro de sulfúrico concentrado, 200 gramos de anhídrido fosfórico. Y se añaden a la digestión dos gotas de mercurio. También se recomienda, para asegurar una ebullición tranquila, añadir un centigramo de grafito. (El mercurio puede ser substituído, aunque con desventaja, por una cantidad mayor, verbigracia triple, de sulfato de cobre seco. La preparación de sulfúrico en forma de fosfosulfúrico, por otra a base de agua oxigenada al 30 por ciento: 25 centímetros cúbicos de ésta para 40 de ácido sulfúrico, con una gota de mercurio y 15 a 20 gramos de sulfato de potasio.) La operación se hace en un matraz de cuello largo, a cuya boca se aplica además un embudo, para evitar pérdidas por proyección. El matraz se dispone inclinado sobre la tela metálica al pico de gas, de modo que la llama sólo afecte a la parte ocupada por el ácido sulfúrico. Aun habría que añadir otras precauciones, que se aprenden mejor prácticamente. Sobre el tiempo que ha de durar la digestión no hay unanimidad.

Una vez extraído el nitrógeno en forma de sulfato amónico, el problema de determinar en éste la proporción del nitrógeno es ya de química general. A él corresponden las operaciones de destilación y valoración.

La destilación se hace con lejía de sosa en exceso. El ion sodio de ésta se combina con el ion sulfúrico del sulfato de amonio, formando sulfato sódico y dejando en libertad el amonio en forma de hidróxido:

$$\underset{\text{(Sulfato de amonio)}}{(NH_4)_2SO_4} + 2\,\underset{\text{(Hidróxido de sodio)}}{NaOH} = 2\,\underset{\text{(Hidróxido amónico)}}{(NH_4)OH} + \underset{\text{(Sulfato de sodio)}}{Na_2SO_4}$$

Y por la misma temperatura, el hidróxido amónico se descompone en amoníaco y agua:

$$2\,(NH_4)\,OH = 2\,NH_3 + H_2O$$

(Hidróxido amónico) (Amoníaco) (Agua)

Esta operación se efectúa en un dispositivo especial llamado aparato de Kjeldahl.

El amoníaco resultante se recibe en una solución de ácido sulfúrico en exceso, y de cuantía y riqueza conocida; verbigracia cuarto-normal (N/4). Ambos cuerpos reaccionan, formándose sulfato amónico; y queda el exceso de ácido sulfúrico en solución cuarto-normal. Su contenido de sulfúrico libre se valora con una solución de sosa de igual valor normal. Por diferencia se deduce la cantidad de sulfúrico combinado en sulfato de amonio. Y de la del sulfúrico se deduce la del nitrógeno en la misma combinación.

En esta determinación, aunque se emplee la tierra total, no se determina más que el nitrógeno orgánico. Si se quieren incluir en la determinación las pequeñas cantidades de nítrico, se utiliza el ácido fenolsulfúrico, que, reaccionando con los nitratos, forma nitrofenol. Este, por la acción del hidrógeno naciente (que se genera echando cinc en el ácido sulfúrico), pasa a amidofenol. Y el nitrógeno de éste puede ya pasar a sulfato amónico por el procedimiento descrito. El mismo resultado se obtiene utilizando, en vez del fenol, ácido salicílico.

El nitrógeno nítrico puede determinarse de varias maneras.

Una de ellas es el procedimiento volumétrico. Se lava bien la tierra con agua destilada, filtrando y lavando el residuo, hasta que el agua que gotee no dé reacción de nitrato. Entonces todos los nitratos de la muestra empleada habrán pasado a la solución acuosa, que se podrá reducir. Ahora bien, hirviendo en proporciones convenientes la solución de nitratos con protocloruro de hierro y ácido clorhídrico, se consigue desprender todo el nitrógeno en forma de bióxido de nitrógeno, que se recoge en un tubo y se mide volumétricamente.

Otro procedimiento es el de Ulsch; que consiste en reducir los nitratos disueltos por el hidrógeno naciente. Este se obtiene con el ácido sulfúrico y el hierro. De esta última reacción resul-

tan sulfato de hierro e hidrógeno. El hidrógeno determina la descomposición del nitrato, formándose, verbigracia, potasa (si suponemos que el nitrato era potásico, que es el que más generalmente se presenta en los suelos), amoníaco y agua. Pero el sulfúrico en exceso reacciona también con la potasa y el amoníaco, formando sulfatos. La reacción total de este múltiple proceso se puede expresar así:

$$\underset{\text{(Hierro)}}{8\,Fe} + \underset{\text{(Ácido sulfúrico)}}{10\,H_2SO_4} + \underset{\text{(Nitrato de potasio)}}{2\,KNO_3} = \underset{\text{(Sulfato de hierro)}}{8\,FeSO_4} + \underset{\text{(Sulfato de potasio)}}{K_2SO_4} + \underset{\text{(Sulfato de amonio)}}{(NH_4)_2SO_4} + \underset{\text{(Agua)}}{6\,H_2O}$$

Ahora bien, del sulfato de amonio se pasa por destilación con lejía de sosa a liberar el nitrógeno en forma de amoníaco (NH_3), y éste se valora recogiéndolo en ácido sulfúrico en exceso, como hemos visto en el método de Kjeldahl.

Existe por fin, para determinación del nitrógeno nítrico en los suelos, un método colorimétrico muy empleado en los Estados Unidos (1).

Determinación de la pérdida por ignición y la materia orgánica. — Pérdida por ignición, en sentido lato, es la disminución de peso que experimenta una muestra de tierra cuando, después de haberse secado a la estufa a 105 grados centígrados, se la somete a calcinación en un horno, al rojo cereza.

Esta disminución proviene principalmente de tres causas: la combustión de la materia orgánica, la pérdida de agua de composición de los minerales hidratados, y la pérdida de anhídrido carbónico por descomposición total de los carbonatos. Hay también pérdida por volatilización o descomposición de otras substancias minerales, y puede haber pequeños aumentos por oxidación o peroxidación, verbigracia del hierro. Pero estos dos conceptos últimos suelen tener en general poca importancia en el resultado final, por lo cual en la práctica se los desprecia. Por otra parte el anhídrido carbónico desprendido de los carbonatos se cuenta aparte en los análisis, en calidad de CO_2. De este modo la *pérdida por ignición,* reducida a un sen-

(1) Se describe en: O. SCHREINER y G. H. FAILYER: *Colorimetric, turbidity and titration methods used in soil investigations.* U. S. Dept. of Agriculture, Bureau of Soils, Bull. 31, 1906; y PAUL EMERSON: *Soil characteristics,* Nueva York, 1925, págs. 134 y siguientes.

tido estricto, que es como se utiliza, resulta un índice de la mayor o menor abundancia de materia orgánica y de elementos alofánicos (o zeolíticos), que son los cuerpos que en general encierran en las tierras más agua de composición. Como la presencia de estos cuerpos expresa capacidad de adsorción de bases y consiguiente saturación de humus, y la materia orgánica es por sí misma el principal elemento de riqueza, las altas cifras en la pérdida por ignición en países templados y templado-fríos se toman en general como síntoma de buena calidad de suelo. En cambio en los climas tropicales los suelos lateríticos, que son producto de un intenso lavado y pobres en materia orgánica, ofrecen por la naturaleza y proporción de su alúmina, una alta dosis de agua de composición. Además, en los mismos países templados, el exceso de arcilla que importa alta proporción de agua química, puede ser y es con frecuencia un inconveniente. Es pues de interés esencial separar los dos conceptos de la pérdida por ignición, o sea la cuenta del agua química y la de la materia orgánica.

Un método absolutamente exacto no se ha encontrado todavía; y por lo tanto hay que atenerse a procedimientos aproximados, tratando de reducir al mínimum el error posible.

El método más sencillo es calcinar la tierra (previamente tamizada y seca a 105 grados en la estufa) y deducir de la pérdida de peso por ambos conceptos en cuestión, la cantidad que pueda corresponder al agua química. Naturalmente que hay que eliminar también la pérdida posible correspondiente al carbónico de los carbonatos.

Esto último puede hacerse de dos modos: o destruyendo primero los carbonatos con un ácido, verbigracia el sulfúrico; o regenerándolos después de la calcinación.

En el primer caso, después del tratamiento por el ácido, hay que volver a dejar secar la tierra, primero por evaporación y al fin sometiéndola otra vez en la estufa al calor de 100 a 110 grados. Entonces se vuelve a pesar, se la lleva al horno y se pesa de nuevo después de calcinada. La pérdida bruta por ignición será la diferencia entre estas dos últimas pesadas. Pero esta cifra no hay que referirla al peso de la muestra después del tratamiento por el ácido, sino al obtenido en la pesada primitiva anterior a este tratamiento.

En el segundo caso, una vez calcinada la muestra, se le

pone encima (sin moverla del crisol o cápsula) carbonato amónico en exceso, y así se deja en la estufa en que previamente se secó, hasta la desaparición total del carbonato amónico, lo que ocurre al poco tiempo. Con el calor, el carbonato amónico se ha descompuesto: el carbónico libre se ha unido a las bases que por calcinación habían quedado libres al disociarse los carbonatos; y el amoníaco libre y carbonato amónico sobrante descompuesto se han desprendido en estado gaseoso (anhídrido carbónico y amoníaco). En la Estación Agronómica Central de Madrid se ha procedido durante mucho tiempo de esta manera; pero en las Instrucciones de 1927 se ha optado por determinar la materia orgánica conjuntamente con la arcilla, después de descalcificar la fracción.

El tiempo de las operaciones de secado y descalcificación no se puede prefijar. Experimentalmente se comprueba que una y otra operación están ultimadas, cuando la muestra deja de perder peso. Para esto hay que dejarla enfriar, pesarla, volverla a la estufa u horno respectivamente, y volverla a enfriar y pesar En estas dos pesadas consecutivas no debe haber diferencia superior al límite de error de la pesada, que en las buenas balanzas de precisión suele ser de 4 diezmiligramos. En la práctica no es necesario llevar el rigor más allá de lo que exija la naturaleza del asunto. El que una tierra posea 2,14 por ciento de humus o 2,18 es prácticamente lo mismo.

Queda el segundo problema, que es el de rebajar la pérdida correspondiente al agua química (agua principalmente del complejo coloide mineral o arcilla).

En algunos laboratorios se calcula que, haciendo la calcinación al rojo sombra y sin prolongarla mucho, la pérdida por ignición puede referirse exclusivamente a la materia orgánica.

Procediendo con mayor rigor y calcinando al rojo cereza, la parte correspondiente al agua se aprecia con criterios aproximados, pero diversos. En el excelente manual de Edafología práctica de Heine (1) se aconseja descontar de la pérdida por ignición el 10 por ciento de la arcilla por concepto de agua química. En este mismo tratado se califica de «arcilla» la fracción mecánica de partículas inferiores a 0,02 milímetros de diámetro.

(1) E. HEINE: *Die praktische Bodenuntersuchung*, Berlin, 1928.

En la Estación Agronómica Central (1) se calcula también como agua química el 10 por ciento de la «arcilla». Pero esta palabra no tiene allí exactamente la misma acepción, pues se trata de la fracción inferior separada empíricamente por la levigación a mano, y no por procedimiento cuantitativo-mecánico (2). La fracción «arcilla» de dicha Estación Agronómica es probable que resulte algo mayor que la de la «arcilla» de Heine. El Dr. Hissink, de Holanda, perfeccionador del método de análisis mecánico, como lo es también del químico, ha tratado de averiguar directamente esta proporción de agua química, y ha encontrado que, por término medio, resulta igual al 6,3 por ciento de la suma de fracciones I + II de Atterberg (3), suma que equivale a la «arcilla» de Heine. Según esto, los resultados de la Estación Agronómica Central resultarían, en general, menos aproximados a los de Hissink que los que se obtendrían aplicando el valor medio que Heine aconseja. Resulta de esto que la mayor aproximación en el cálculo del humus exige, por este método de la ignición, un análisis mecánico cuantitativo lo más riguroso posible.

Un segundo método, o grupo de métodos, de la determinación de la materia orgánica, lo constituye el de medir el anhídrido carbónico que se desprende en la combustión de ella. La muestra, previamente seca y pulverizada en un mortero, se pone en un matraz, previamente tarado, y se pesa con el matraz. La diferencia de pesos será el de la tierra. Se trata primero por el ácido sulfúrico, para eliminar el carbónico de los carbonatos; y luego se pone al fuego con una mezcla de 7 a 8 gramos de bicromato potásico y 30 a 35 centímetros cúbicos de ácido sulfúrico concentrado, añadiéndose 10 centímetros cúbicos de sulfato de mercurio para activar la combustión. El anhídrido carbónico ($C O_2$) que se desprende, se recoge en una lejía de potasa [de 1 parte de hidróxido de potasio K (OH), por 1 de agua], de donde resulta carbonato potásico. El aumento de peso resultante de esta incorporación es el peso del carbónico desprendido de la materia orgánica del suelo.

Como en la combustión se desprenden también sulfúrico y

(1) Instrucciones, etc.

(2) Véase el capítulo VI.

(3) Dr. D. J. HISSINK: comunicación epistolar (10-VII-28), que aprovecho aquí la ocasión para agradecer una vez más.

vapor de agua, y por otra parte en el aire hay también anhídrido carbónico, hay que eliminar las perturbaciones que en la apreciación de que se trata podrían introducirse por ambos conceptos. Para lo primero se disponen, entre la salida del matraz (por un tubo acodado) y el depósito de potasa, dos tubos en U: el primero vacío, para recoger el sulfúrico; el segundo con ácido sulfúrico concentrado y perlas de vidrio, para recoger el

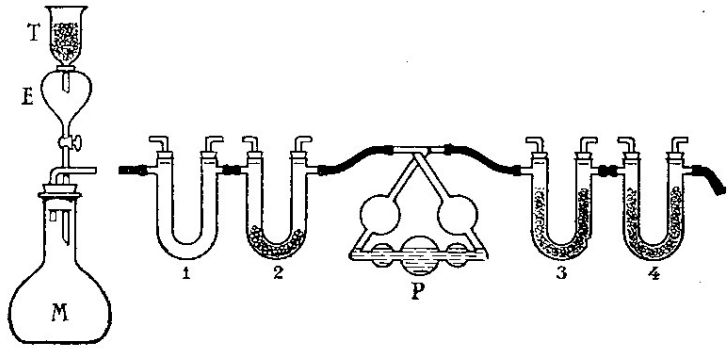


FIG. 2.— Dispositivo para determinar el humus por el anhidrido carbónico.

M, matraz de combustión.— E, embudo.— T, tubo con cal sodada.—1, tubo en U vacío. — 2, tubo en U con ácido sulfúrico y perlas de vidrio.— P, depósito de lejía de potasa. —3, tubo con cloruro de calcio en la rama izquierda y cal sodada en la derecha.—4, tubo con cal sodada.

agua. Para impedir que entre carbónico del aire, se ponen a la entrada y salida del dispositivo total, depósitos de cal sodada, que recogerán dicho carbónico: el primero consiste en un tubo recto, que se coloca como tapón en el embudo superpuesto al matraz; el segundo en un tubo en U que comunica con el aire. Todavía, para extremar la precaución, se añade entre este último tubo y el depósito de potasa, otro tubo en U que lleva, en la rama próxima a éste, cal sodada para recoger las porciones de carbónico que eventualmente pudieran escapar de él, y en la otra cloruro de calcio, para absorber el agua que pudiera proceder de la primera rama y de la lejía de potasa De modo que el aumento de peso (si le hubiese) de este tubo, hay que añadirlo también al cálculo del carbónico desprendido.

Este procedimiento resulta de rigor químico si lo que se trata de determinar es el *carbono* (C) que contiene la materia orgá-

nica. Siendo la composición del carbónico (CO_2), cuyo peso se aprecia directamente:

	Atomos	Peso atómico	Tanto por ciento en peso
CO_2 (Anhídrido carbónico)	C	12,00	27,27 por 100 de carbono (C)
	O_2	32,00	72,73 » » de oxígeno (O)
		44,00	100,00

a cada 100 partes de carbónico desprendido corresponderán 27,27 de carbono (C).

Pero si lo que queremos averiguar es el total de *materia orgánica,* tanto rigor en el procedimiento se esfuma luego en la vaguedad del cálculo; pues la relación entre el carbono (o entre el carbónico desprendido) y el total de materia orgánica, no es una cantidad conocida y constante. Durante algún tiempo se había venido admitiendo en la materia orgánica, *por término medio* (lo que significa que el cálculo ya no es exacto), el 58 por ciento del carbono (C); de donde resultaría, que cada gramo de carbónico (CO_2) representaría 0,47 de materia orgánica. Pero, hace pocos años, Read y Riedgel (1), investigando en 37 suelos el carbónico y aparte la materia orgánica, han encontrado que las proporciones del carbono, lejos de fluctuar alrededor del 58 por ciento, variaban entre el 30,2 y el 56,3. El término medio resulta de 49,3; pero entre extremos bastante distanciados. Ante esto no parece que la determinación de la materia orgánica por el carbónico, con ser el procedimiento mucho más largo y difícil, ofrezca mayor exactitud que el de la ignición directa.

Por estos métodos lo que se averigua es la materia orgánica total, pues lo mismo se quema la bruta que el humus elaborado. Para averiguar la proporción del humus únicamente, existe el método de Grandeau, seguido también por Hilgard, y perfeccionado modernamente por De 'Sigmond. La esencia de este método consiste en disociar los compuestos insolubles del humus por el ácido clorhídrico; y extraerlos luego por el amoníaco. El ácido clorhídrico se recomienda en solución (en agua destilada) del medio al uno por ciento. El amoníaco que después se aplica, en solución al 4 por ciento. Esta aplicación se

(1) V. «Zentralblatt für Agrikulturchemie», 1923.

hacía antes sobre un filtro, y así resulta larguísima, hasta que el amoníaco gotee del filtro, incoloro. De'Sigmond recomienda hacer la operación en un matraz o frasco de medio litro, sometiéndolo frecuentemente a agitación y prolongando la digestión treinta y seis horas (1). El problema difícil es el de separar luego la solución que contiene el humus, del resto de la muestra. Filtrando y lavando, siempre hay coloides minerales en estado de alta dispersión (favorecida por el amoníaco) que pasan el filtro. Esta pequeña porción de coloides contendrá agua de composición, y al perderse esta agua en la calcinación subsiguiente, tendremos ya un elemento de error, aunque sea pequeño, para el cálculo final. Para evitar el inconveniente se aconseja purificar la solución centrifugando.

El final del proceso consiste en evaporar a sequedad la solución de humus, pesar éste una vez seco, y luego calcinar y volver a pesar el crisol. La diferencia entre estas pesadas será el peso de la materia orgánica. En el crisol quedará una pequeña cantidad de cenizas.

Para abreviar la operación, una vez que se tiene la solución de humus, se puede tomar solamente una parte de ella, verbigracia la décima parte (o más o menos según la riqueza en humus se vea ser menor o mayor), para secar y calcinar. Pero entonces hay que extremar la escrupulosidad en todo; pues en la cuenta final los errores quedan multiplicados por 10.

A propósito del humus, hemos hablado en el capítulo anterior de la diferencia que existe entre el humus ácido o insaturado y el dulce o saturado.

Determinar de cuál se trata es operación tan importante como sencilla. Basta preparar una solución de amoníaco (en agua destilada) al 2 por 100. Se toma una pequeña cantidad de tierra, verbigracia un gramo; se mezcla bien en una capsulita o en un tubo de ensayo, revolviendo con presión o agitando; y al cabo de unos minutos se filtra. Si el humus es ácido, el filtrado tendrá un color negro intenso, con viso de café en la superficie. Si es dulce, el filtrado saldrá incoloro (o a veces con tono de topacio o ligeramente turbio por causas ajenas al humus, como óxido de hierro, arcilla, etc.). Si la tonalidad es intermedia

(1) Vid. «Kisérl. ü. Kozlony», 1921, 2.

entre estos extremos, denotará que hay sólo una parte de humus ácido (tanto mayor cuanto más intenso el color sea).

Una advertencia general antes de poner fin a este capítulo. En los análisis químicos hay, como puede colegirse de lo que precede, muchas causas de error posible, y fácilmente se puede caer en él, aunque se tenga gran competencia científica. Por eso, todo análisis químico debe hacerse por duplicado, y sin que los dos operadores se hallen en comunicación al respecto. Si los resultados no discrepan más allá del límite prudencial que la técnica admite para cada caso, se toma como cifra el término medio. En caso contrario, se debe repetir, también por duplicado, la operación. Sin este requisito, los análisis químicos no pueden ofrecer suficiente garantía.

Como garantía de que se ha cumplido este requisito, deben firmarlos los dos operadores técnicos que realmente los han ejecutado, además del que los haya dirigido de hecho (si no ha sido uno de ellos).

El análisis no debe jamás ser anónimo o adscrito simplemente a nombre de un laboratorio o institución; porque entonces puede resultar éste responsable de errores que no ha cometido, y que en un individuo son perfectamente naturales, pero en una colectividad científica inadmisibles.

CAPÍTULO IV

LA REACCIÓN Y LA PRESIÓN OSMÓTICA

De la composición química del suelo y de los fenómenos físicoquímicos que en él se realizan, resulta el llamado *reacción,* que podría definirse como el aspecto químico de su estado eléctrico.

Todo el mundo tiene una idea (aunque no siempre sea adecuada) de lo que es *acidez*. *Alcalinidad* o basicidad es lo contrario. La acidez y la basicidad producen efectos opuestos en el papel de tornasol: la acidez lo pone rojo, la alcalinidad azul. Si tomamos un vaso con agua destilada e introducimos en ella un trozo de papel de tornasol de un tono violado intermedio, el color del papel (después de seco) no habrá variado. Si echamos en el agua unas gotas de ácido clorhídrico, al volver a tocar en el líquido una punta del papel de tornasol, éste se pondrá rojo. Si en esta misma agua echamos gota a gota amoníaco (que es un álcali), y a cada gota volvemos a probar el agua con el papel, veremos que cada vez toma un rojo menos intenso y llegará un momento en que ya no se alterará su color violado. La solución ha sido neutralizada. Pero si seguimos echando más amoníaco, el papel de tornasol violado irá tomando coloración azul, tanto más intensa cuanto más amoníaco se añada. La solución se ha hecho alcalina.

Estos son los efectos de la reacción. Ahora vamos a estudiar el fenómeno en sí mismo. Hay una porción de compuestos minerales, llamados por esto electrolitos, que tienen la propiedad de poderse disociar en dos elementos (llamados *iones*) de carga eléctrica contraria: los positivos, que se acumulan en el cátodo o polo negativo, se llaman *cationes;* los negativos, que se acumulan en el ánodo o polo positivo, *aniones*. Este estado de diso-

ciación se indica añadiendo al símbolo o fórmula del componente químico el signo + para los cationes y el — para los aniones. El ácido clorhídrico, por ejemplo (HCl), se disocia en ion hidrógeno, que es un catión (H^+), y ion cloro, que es un anión (Cl^-).

Esta disociación, que puede provocarse por una corriente eléctrica, se produce también en mayor o menor grado cuando el electrolito llega al máximo grado de dispersión, como ocurre cuando se disuelve. Pero, al disolverse, no todos los electrolitos se disocian en el mismo grado.

Tomemos, por ejemplo, el citado ácido clorhídrico. Este cuerpo (HCl) se compone de:

	1 átomo de hidrógeno (H) con peso atómico. .	1,008
y	1 átomo de cloro (Cl) con peso atómico	35,46
	Total HCl, con peso molecular de	36,468

Dispersemos el ácido clorhídrico en el seno del agua (destilada). En una solución normal entrarán 36,468 gramos de ácido para un litro de solución. Si la solución es decinormal (N/10), entrará en un litro la décima parte, o sean 3,6468 gramos. De estos gramos, 3,546 serán de cloro y 0,1008 de hidrógeno. Sin embargo éstos no serán precisamente los pesos respectivos de iones hidrógeno (H^+) y iones cloro (Cl^-) que se hayan formado. Aplicando el procedimiento electrométrico del caso, averiguaremos que sólo el 84 por 100 del ácido clorhídrico dispersado en el agua, se ha disociado en iones. Por consiguiente el peso de los iones hidrógeno (H^+) no será 0,1008 gramos, sino $\frac{0'1008 \times 84}{100} = 0'084$ gramos, prescindiendo de los demás decimales. Y así escribiremos

$$(H^+) = 0{,}084 \text{ gr.}$$

A este peso se le llama «concentración de iones de hidrógeno».

En todos los ácidos la función típica está representada por el hidrógeno.

Tomemos ahora otro ácido: el acético; y hagamos con él una solución análoga. Igual investigación electrométrica nos demostraría que por 0,1 gramo de hidrógeno en dispersión,

sólo se ha ionizado 0,00136; y así escribiremos en éste otro caso

$$(H^+)=0,00136$$

como expresión del peso o «concentración de iones hidrógeno».

En el lenguaje vulgar decimos que el ácido clorhídrico es un ácido *fuerte* y el acético un ácido *débil*. Aquí hemos encontrado una explicación del fenómemeno y una forma más científica de expresarlo: los valores de 0,084 y 0,00136.

Estos valores, como todos los demás análogos, los podemos considerar como el producto de un factor variable por una potencia negativa de 10. Y así tendremos, para la solución de ácido clorhídrico:

$$(H^+) = 0,084 = 8,4 \times 10^{-2}$$

Y para la de acético:

$$(H^+) = 0.00136 = 1,36 \times 10^{-3}$$

Sörensen ha ideado, como más práctico, tomar como medida de la concentración de iones hidrógeno, no estas cifras, que expresan el peso, sino el logaritmo de los inversos. El inverso de (H^+) es $\frac{1}{(H^+)}$. En la ecuación relativa a la solución de clorhídrico tendremos así sucesivamente (por transformaciones algebraicas):

$$\frac{1}{(H^+)} = \frac{1}{8,4 \times 10^{-2}} = \frac{10^2}{8,4}$$

$$\log. \frac{1}{(H^+)} = \log. 10^2 - \log. 8,4 = 2 - 0,92428 = 1,075.$$

La expresión $\log \frac{1}{(H^+)}$ se substituye por la convencional de pH. Este pH es pues el índice de la concentración de iones hidrógeno; y este índice es el que se toma como medida de la reacción. Así, en la solución decinormal de ácido clorhídrico, la reacción estará indicada por el valor

$$pH = 1,075.$$

Para la de ácido acético, con análogo cálculo, llegaríamos al valor

$$pH = 2{,}866$$

Vemos pues que, a mayor fuerza de ácido, o, más brevemente, a mayor acidez, corresponde menor valor de pH.

El agua, cuya composición se expresa sintéticamente por H_2O, o analíticamente por H·HO, es un compuesto en que se satisfacen mutuamente el ion ácido o catión (H^+), *hidrógeno*, y el ion básico o anión (HO^-), *oxhidrilo*. Las medidas de conductibilidad eléctrica han demostrado que en el agua químicamente pura la disociación iónica es insignificante. Su concentración de iones hidrógeno se ha encontrado ser prácticamente, a la temperatura de 25°:

$$(H^+) = 1 \times 10^{-7}$$

De donde

$$pH = 7.0.$$

La concentración iónica del elemento básico (OH^-) es igual: ambos elementos se compensan; el agua químicamente pura es pues una substancia neutra. La reacción neutra está así expresada por el valor de pH = 7.

Según aumente en las distintas soluciones la concentración de iones hidrógeno (es decir, la proporción de hidrógeno disociado con su carga eléctrica libre), irá disminuyendo el valor de pH, que en la solución decinormal de ácido clorhídrico hemos visto reducirse a 1,07. Si, por el contrario, aumenta la concentración de (OH^-) o iones de función básica, irán aumentando los valores de pH (1).

En los suelos los valores de pH se apartan más del punto

(1) En una obra de este género no es posible dedicar mayor espacio a explicar lo que es la reacción en general. El tema es de Físico-Química, y de esta ciencia hay que tomar las consecuencias. A la Edafología sólo le corresponde la aplicación a su objeto propio. Para la buena comprensión de estas nociones hacen falta conocimientos previos, que quizás no posean todos aquellos a quienes puede interesar el conocimiento del suelo. Pero es también imposible tratar de éste, sin mencionar la reacción. Explicaciones, también elementales, pero más detalladas, del tema de este capítulo, podrán encontrarse en mis trabajos siguientes, insertos todos en el «Boletín de Agricultura Técnica y Económica»: *La reacción del suelo y su medida por la concentración de iones hidrógeno* (1925); *Ensayos sobre la reacción del suelo por el método colorimétrico* (1926); y *La reacción del suelo en España* (1927).

neutro en el sentido ácido que en el básico. En el primero es frecuente que bajen de 4 en los suelos turbosos y de podsol de las altas latitudes. En el básico es muy raro que se llegue a 8, y no suele llegarse a 9.

Aunque es difícil, y exige cierta cultura previa, comprender el fenómeno de la reacción, es en cambio muy sencillo determinarla, y la operación puede aprenderse sin ser un técnico en Edafología.

La determinación se hace por dos métodos: el colorimétrico y el eléctrico.

El colorimétrico es el menos riguroso; pero tiene en su favor la baratura de los medios, que pueden adquirirse por un valor de unas doscientas pesetas, todo comprendido; mientras que el eléctrico exige un gasto diez veces mayor.

Para la determinación colorimétrica hay una porción de dispositivos, algunos francamente malos, lo suficiente para desacreditar el método. Hay pues que estar prevenido, y no adquirir ningún aparato de cuya utilidad no se tenga seguridad previa. De cuantos conocemos, el que más satisfactorios resultados nos ha dado es el ionoscopio fabricado por el Instituto de Sueroterapia de Berna (Serum- und Impfinstitut), que facilita además los reactivos. Este será pues el que describamos.

Este ionoscopio consta esencialmente de: un grupo de reactivos, un colorímetro y un comparador.

Los reactivos son cuatro:

Dinitrofenol α: para valores de pH entre 2,8 y 4,4

Dinitrofenol β: para valores de pH entre 4 y 5,4

Paranitrofenol: para valores de pH entre 4,5 y 7,0

y Metanitrofenol: para valores de pH entre 6,8 y 8,4.

El colorímetro consta de cuatro series de tubos cerrados a la lámpara, conteniendo cada uno una solución del tono igual al que el reactivo correspondiente ha de dar para cada valor de pH. Estos tubos están escalonados de dos en dos décimas: 5,4, 5,6, 5,8, etcétera.

El comparador es un pequeño paralelepípedo de madera, pintado exteriormente de negro y atravesado por cuatro huecos cilíndricos en sentido vertical y dos en sentido horizontal; los cuatro primeros para la introducción de otros tantos tubos; los dos últimos para mirar a través de cada par de tubos. En el fondo de la visual van un vidrio azul y otro esmeri-

lado blanco, que pueden quitarse o ponerse, corriéndolos entre dos ranuras.

Para utilizar este ionoscopio se toma una muestra de tierra natural, sin secarla previamente a la estufa ni al aire. Tampoco hace falta tamizarla si es de elementos más o menos finos. En caso contrario se tamiza a 2 milímetros; y para ello se deja secar (si está muy húmeda) solamente lo preciso para hacer posible el tamizado. En una cápsula de porcelana o de cinc (no de vidrio) se ponen 24 gramos, por ejemplo, de la tierra en cuestión, y 60 centímemetros cúbicos de agua destilada neutra. Hay que probarla primero con el colorímetro, y debe dar, para el valor de pH, de 6,9 a 7,1. Si excede de estos límites, hay que redestilarla. La relación entre las cantidades de agua y tierra no conviene que pase de 2,5, de modo que si, en vez de 24 gramos de tierra, usáramos 20, deberíamos emplear 50 centímetros cúbicos de agua. Pero la práctica demuestra que no hace falta tomar cantidades superiores a 24 y 60 respectivamente; y que, en cambio, cantidades menores pueden resultar deficientes.

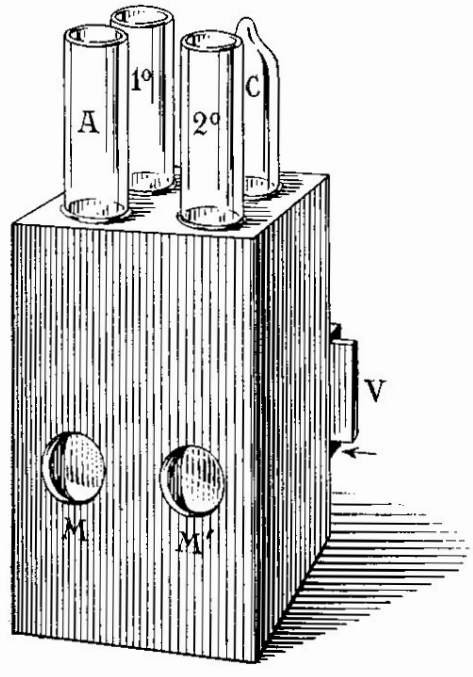


FIG. 3. — Comparador del ionoscopio de Berna.

M M', orificios de mira. — V, introducción del vidrio esmerilado o azul. — 1º, tubo con 6 cm.³ del filtrado y 1 cm.³ de reactivo. — 2º, tubo con 6 cm.³ del filtrado y 1 cm.³ de agua destilada. — A, tubo con agua destilada. — C, tubo del colorímetro.

Se revuelve bien repetidas veces, y se deja en digestión veinticuatro horas. Conviene que, tanto el agua empleada como el ambiente de la habitación, no se alejen mucho de las temperaturas comprendidas entre 20 y 25 grados; pues entonces empezaría a variar sensiblemente el valor de pH del agua y de las soluciones.

A las veinticuatro horas se revuelve de nuevo y se filtra. En tierras muy arcillosas convendrá poner filtro doble.

Deben tenerse tubos de ensayo calibrados, en diámetro y grueso de pared iguales en lo posible a los del colorímetro. Con una pipeta se ponen 6 centímetros cúbicos del filtrado en un tubo, que llamaremos 1.°, y 6 en otro, que llamaremos 2.°. Al tubo 2.° se le añade un centímetro cúbico de agua destilada; y al 1.° un centímetro cúbico del reactivo que juzguemos corresponderle según su pH probable. Si el filtrado corresponde realmente a su campo de acción, tomará con esta adición un tono de la escala que en el colorímetro corresponde a este reactivo. Si toma el color de intensidad máxima, hay que repetir la operación con el reactivo que corresponda a la serie superior (en valores de pH). Si resulta incoloro, hay que repetir también, pero con el reactivo de la serie inferior de valores.

Para apreciar exactamente el tono de la preparación, se disponen el tubo 1.°, el 2.°, otro con sólo agua destilada y el del colorímetro que se prueba, de la manera que se indica en nuestro dibujo. De este modo, por un orificio de mira se verán superpuestos el tubo 1.° y el del agua destilada, y por otro el tubo 2.° y el del colorímetro. La diferencia o semejanza de las tonalidades que por uno y otro orificio se observen, se deberá así, exclusivamente, a la naturaleza del filtrado. Si la tonalidad observada por el orificio (que llamaremos A) a que corresponde el tubo 1.°, coincide con la del otro orificio (que llamaremos B) a que corresponden el tubo 2.° y el del colorímetro, el valor marcado en éste será el del filtrado y suelo que estudiamos. Si no se llega a la coincidencia, sino que el tono que se estudia se halla comprendido entre los de dos tubos contiguos del colorímetro, el valor de pH del filtrado será intermedio (verbigracia 7,3 si está comprendido entre los tonos de los tubos de 7,2 y 7,4).

Es conveniente no hacer esta operación con una muestra aislada, sino preparar y determinar varias a la vez, y en este caso que sean de valores de pH próximos. De este modo podre-

mos comparar luego los filtrados entre sí; y, cuando haya varios, de valores intermedios entre dos tubos contiguos del colorímetro, ponerlos en serie, verbigracia

7,2	a b c d	7,4
tubo del colorímetro	Valores intermedios de los filtrados	tubo del colorímetro

y consecuentemente asignar a los valores intermedios cifras arbitrarias en cuanto a su valor absoluto, pero de relación gradual verdadera entre sí, verbigracia:

$$a = 7{,}25 \quad b = 7{,}28 \quad c = 7{,}32 \quad d = 7{,}35$$

Estas cifras serán indudablemente más exactas que la de 7,3 asignada por igual a todos los valores intermedios: de modo que, cuanto más copiosa sea la interpolación, mayor será la exactitud.

También es conveniente repetir las operaciones con las mismas muestras, o con muestras diferentes de un mismo suelo. Si se encuentra siempre el mismo valor de pH, ello será indicio de que hemos operado bien, y al mismo tiempo una garantía del método.

Con el colorimétrico que acabamos de describir y otros análogos, lo que determinamos es la reacción de un filtrado obtenido del suelo, pero no de la suspensión misma formada por la mezcla de tierra y agua, que puede tener un valor algo diferente.

El procedimiento eléctrico tiene la ventaja de que permite hacer la determinación en la suspensión directamente, y además apreciar los valores no de 2 en 2 décimas, sino hasta por centésimas.

Para éste existen varios aparatos. Uno de los más prácticos y recomendados es el de Trenel. En éste, como en otros, la determinación de la concentración de iones hidrógeno es una determinación de diferencia de potencial. Para ello se usa una solución testigo de valor de pH conocido, que sirve de término de comparación. Esta solución es la llamada mezcla de Veibel, de ácido clorhídrico decinormal con 0,09 de cloruro de potasio; y su valor de pH es de 2,03. Para comprobar si el aparato funciona debidamente se utiliza además otra solución llamada «de prue-

ba», de pH igualmente conocido, 6,813, que es una mezcla de otras dos: una de fosfato monopotásico y otra de fosfato disódico. La solución testigo se prepara de una vez para mucho tiempo. En cambio la de prueba se altera pronto y hay que irla renovando. Ambas soluciones se saturan de quinhidrona. La tierra que se ha de investigar después, y que substituye a la solución de prueba, se echa igualmente en una solución de quinhidrona. La solución testigo se pone en un vaso poroso, y en ella se introduce un electrodo de chapa de platino. El conjunto se introduce a su vez en el vaso de vidrio que contiene la solución de prueba o la suspensión de tierra; y así se constituye un par, cuyo polo positivo corresponde al electrodo introducido en la solución testigo. Como generador se usa una pila seca, que debe dar una intensidad de 11 a 15 miliamperes, lo que se comprueba por un amperímetro. Un galvanómetro indica el sentido de la corriente. La medida se hace compensando con resistencias, y el resultado lo expresan los números impresos en el limbo de dos discos tangentes, según la posición que a éstos se haga ocupar a tenor de las indicaciodes del galvanómetro. Poniendo por momentos pero sin interrupción en actividad un contacto insensible, T', se observa en el galvanómetro el sentido de la corriente. Si la aguja señala verbigracia a la izquierda, hay que hacer girar hacia la derecha el disco posterior, que contiene los valores de pH, haciendo así variar el potencial de compensación hasta que la aguja señale a la derecha. El valor buscado se encuentra entonces entre los dos extremos; y se toma como entero el punto en que se observe que el disco anterior coincide con el 0 de los decimales. Estos se averiguan análogamente, usando un contacto sensible, y haciendo girar el disco anterior hasta que la aguja del galvanómetro se pare. Entonces se leerá en un pequeño círculo de talco, cuyo centro es el punto de contacto de los discos grandes, el valor buscado.

Otras muchas advertencias hay que tener en cuenta para el manejo de este aparato; pero todo se aprende rápidamente cuando se le posee. En cambio, no teniéndole delante, sería estéril entrar en más detalles descriptivos. Una vez puesto en marcha, todo se reduce a tocar dos contactos y hacer girar dos discos; de modo que un ayudante no técnico de laboratorio puede capacitarse para ello.

Este aparato está dispuesto en forma de caja, que se cierra

y se puede llevar al campo. Allí la reacción del suelo se determina sin necesidad de tomar muestra: haciendo en él un hoyo, echando solución de quinhidrona, en la cual se revuelve la tierra, e introduciendo en él el vaso poroso con la solución testigo y el polo positivo.

La reacción se relaciona íntimamente con una porción de fenómenos y problemas que interesan al suelo, unos especulativos y otros de orden práctico, v. g.:

Con su composición química y mineralógica.
Con el proceso de humificación y la naturaleza del humus.
Con la saturación del complejo coloide, el cambio de bases y los índices a que la determinación de éstas da lugar.
La necesidad de cal.
La vida microbiana.
La diferenciación de horizontes y la tipología edafológica.
Las propiedades físicas de la tierra.
La vegetación natural y cultivada.
La patología vegetal.
Y la aplicación de los abonos.

Sobre cada uno de estos puntos podría escribirse un libro, pero aquí nos tenemos que contentar con dar algunos ejemplos.

Los suelos calizos suelen ser más o menos básicos, y los silíceos, en la mayoría de los casos, más o menos ácidos. Las sales influyen en el fenómeno según la fuerza de los dos elementos (ácido y básico) en que se disocian. En el sulfato de calcio el ácido es fuerte (sulfúrico) y la base también (calcio): la solución resulta neutra. En el carbonato de calcio la base (cal) es fuerte, y el ácido (carbónico) débil: como consecuencia, aunque este cuerpo sea poco soluble (en los jugos del suelo más que en el agua sin embargo), su influencia es eminentemente básica o alcalina en la reacción, y esto se aprecia aun en el simple tratamiento de la caliza por el agua destilada en la cual su solubilidad es infinitesimal. En el carbonato de sodio estas condiciones se extreman, la base es típicamente fuerte (la sosa, un álcali), el ácido suave y además la sal muy soluble. Por eso en los suelos salinos con carbonato de sodio o álcali negro, se registran los más altos valores edafológicos de pH: más de 9 en algunos casos.

Pero los elementos de reacción básica o ácida no influyen en el suelo según sus proporciones lapídeas, sino según sus proporciones edáficas. Así, en suelos del Languedoc (Sur de Francia)

con vegetación subserial de *Brachypodium ramosum* y *Phlomis lychnitis,* Braun ha hallado estas cifras de proporción de caliza y valores de pH (1):

Localidades	Tanto por ciento de caliza	Valores de pH
Villeneuve-les-Maguelone	0,3	6,8
Idem	0,4	7,0
Colombière	0,45	6,8
Paillade	10,5	6,9
Chatean-Clapiers	54,0	7,2
Idem	58,0	7 1

Se acusa perfectamente en estos ejemplos que no es la masa del mineral calizo lo que hace variar proporcionalmente el valor de pH. Mientras aquélla oscila en la proporción de 193 a 1, los valores de pH sólo oscilan en los límites de la proporción de 1,06 a 1,00. En este experimento se demuestra sólo la parte negativa del hecho: que no son las proporciones totales de cal las que determinan el valor de la reacción. El aspecto positivo lo puede comprobar fácilmente todo el que tenga a su disposición un ionoscopio, agua destilada y un poco de agua de cal. Determinando el pH del agua destilada (si no está cargada de anhídrido carbónico, como suele estarlo a veces), se encontrará 7,0. Según se le vayan añadiendo cantidades pequeñas de agua de cal, el valor de pH irá subiendo.

En los terrenos calizos de la España seca se encuentran valores de pH comprendidos generalmente entre 7,25 y 7,50; pero dichos valores son más altos en el horizonte superficial, donde se hallan los coloides, y la cal y demás bases se hallan movilizadas, que en la roca madre, compuesta exclusiva o casi exclusivamente de caliza, en la cual la reacción suele bajar a 7,2.

En la página 34, nota, hemos publicado un cuadro sintético de los resultados obtenidos por Hissink en sus experimentos sobre los índices de adsorción y el encalado. Al transcribirlo allí suprimimos una columna relativa al pH, del cual no habíamos hablado aún. Ahora la añadimos y en ella podrá observarse la relación del pH con los fenómenos de adsorción por el complejo coloide. Con ella repetiremos, para comodidad de la com-

(1) J. Braun Blanquet: *Concentration en ions H et calcimétrie du sol de quelques associations de la garigue languedocienne.* Bull. Soc. Bot. de France, 1924.

paración, la de los valores de V, o grado de saturación del suelo.

Campos de experimentación	Valores antes del encalado		Valores después del encalado	
	V	pH	V	pH
I	52	7,6	53	7,8
II	49	8,0	50	8,0
III	40	6,3	50	7,2
IV	17	4,8	38	6,8
V	23	5,2	29	5,9
VI	34	6,1	36	6,6
VII	17	4,6	26	5,5

Al hablar del humus ya hemos tenido que anticipar que la diferencia de sus dos formas, tan distintas en su significación y efectos, se acusa por la reacción. El humus no saturado es ácido. Kraus da, por ejemplo, para los valores de pH en la región de humus ácido del Noroeste de Alemania: 3,6 en el humus bruto bajo bosque; 4 a 5 en el humus de pinar; 5,1 a 5,35 en el del estrato muscinal de *Mnium* y *Catharinea*; 5,5 en el de tapiz herbáceo de *Oxalis;* 4,75 en el de *Hypnum*. En cambio la reacción de suelos con humus saturado y rico en bases de cambio, suele ser más o menos básica; Glinka da la reacción alcalina como característica de toda la serie esteparia de Rusia, desde el *chernosiem* al semidesierto de tierra gris. En las rendzinas de España, con proporciones de humus entre 2,5 y 8 por ciento, el autor de este libro ha encontrado valores de pH, generalmente de 7,1 a 7,5, predominando los superiores a 7,3. En el caso del humus la influencia de las bases de cambio en el fenómeno de la reacción se pone de relieve con la mayor evidencia.

Con el transporte así de la cal y demás bases, sales solubles, humus y coloides a través de los diferentes niveles del suelo, ya en sentido descendente ya ascendente, y el lavado o por el contrario la acumulación de estos diversos elementos, guarda estricta relación la distribución vertical de los valores de pH. La reacción ofrece también un perfil. Así, en las excursiones realizadas el verano de 1929 por la Comisión del Mapa Edafológico de Europa en las cercanías de Danzig, llegamos a encontrar en un podsol de las dunas de la orilla del Báltico, valores de pH inferiores a 3. Ya hemos indicado que en muchas rendzinas de España hemos encontrado en la roca madre, con ser caliza, una alcalinidad menor que en los horizontes pedológicos, donde se

hallan los coloides con las bases de cambio. En el perfil St-4, en cambio (1), que es de un suelo húmedo descalcificado, el suelo, formado a expensas de la roca caliza resulta moderadamente ácido; y la acidez va disminuyendo, desde que nos alejamos del horizonte superficial, rico en humus, y nos acercamos a dicha roca madre; pero en este último horizonte, a pesar de que el contenido lapídeo de carbonatos de cal y magnesia pasa del 71 por ciento, apenas llegamos más que hasta la reacción neutra; porque aquí el complejo de adsorción se halla en proporciones mínimas.

Horizontes	pH
I	6,2
II	6,25
III	6,66
IV	6,9

La relación de los valores de pH con las bases de adsorción y los coloides, da lugar a que también la haya entre el mismo valor y las propiedades físicas del suelo, a que dedicamos otro capítulo. Valores de pH entre 6,2 y 7,2 en clima templado son característicos de tierras francas. Valores muy bajos indicarán falta de cal y consiguientemente excesiva tenacidad si la tierra es arcillosa, o excesiva soltura si es arenosa. Ya hemos visto los bajos valores de pH en el podsol. En cambio, valores entre 7,1 y 7,5 en nuestros climas, son típicos de un suelo de humus rico en elementos adsorbidos y protegido en los niveles superiores por buena dosis de cal.

La relación entre el pH y la vida microbiana es el más importante de los aspectos de la reacción, sobre todo desde el punto de vista práctico, y de él nos ocupamos en el capítulo próximo.

Añadiremos aquí que, no sólo por su relación con las propiedades del suelo, sino por el intercambio bio-osmótico entre los organismos vegetales y los jugos de la tierra, el valor de pH se halla también íntimamente relacionado con la vegetación, así natural como cultivada. Sobre la natural, los geobotanistas han acumulado en pocos años un prodigioso número de datos, y han puesto en claro que, entre las condiciones de óptimo de cada especie, figura la reacción. Hay especies de gran amplitud de acomodación a diferentes valores de este índice; mientras que

(1) Páginas 7 a 9.

otras sólo puedan prosperar entre límites reducidos. Entre las principales dominantes de las asociaciones forestales españolas, por ejemplo, la encina puede vivir en medios de una acidez ya pronunciada, en medios neutros y en medios francamente básicos: en uno de nuestros citados trabajos (1) la indicamos en suelos desde un 5,7 hasta un 7,5. En cambio el alcornoque y la *Quercus toza* no los hemos encontrado, en lo que estudiado llevamos, sino en suelos más o menos ácidos (máximo 6,8 para la *Q. toza)* (2).

Como ejemplo del valor ecológico del índice pH, transcribiremos las siguientes determinaciones de F. Chodat en los valles de Entremont y Drance inferior (Valais, Suiza): las dos primeras en las partes bajas; el resto en los alrededores de la estación alpina de la *Linnæa*, en Bourg-Saint-Pierre, a unos 1.700 metros de altitud. Los valores se refieren a muestras cogidas en la rizósfera de la especie que para cada uno se cita (3).

Vegetación (4)	Especie	Valor de pH
Graminetum xerófito en suelo calizo. . . .	*Bromus erectus*. .	7,6
Garidas de La Bâtiaz, con *Quercus pubescens*, en suelo calizo.	*Sorbus Mougeoti*. .	7,5 7,4
Gramini-herbetum junto a La Linnæa, considerado como último avance de los elementos de la garida-estepa.	*Bunium bulbocastanum*.	7,3
	Silene venosa. . .	6,9
	Artemisia absinthium	6,8
	Cotoneaster integerrima	6,8
	Sedum album. . .	6,6
	Plantago serpentina	6,6 6,5
	Dianthus carthusianorum	6,4 6,3.

(1) *La reacción del suelo en España.*

(2) Estas cifras no se dan aquí como definitivas; porque el número de determinaciones del pH en suelos españoles no es suficiente todavía, ni lo será en mucho tiempo mientras no haya más investigadores. Series de determinaciones sistemáticas no tengo noticia de que haya publicadas hasta hoy sino las del que esto escribe.

(3) F. CHODAT: *La concentration en ions hydrogène du sol, et son importance pour la constitution des formations végétales*, Genève, 1924.

(4) La significación de los términos técnicos de vegetación, que es imposible suprimir, se encontrará en mi *Geobotánica*, Madrid, 1929.

Vegetación	Especie	Valor de pH
Graminetum estépico con *Festuca ovina, Koeleria cristata, Anthoxanthum odoratum* y *Phleum alpinum*	El graminetum en conjunto	6,1
Herbetum de	*Chærophyllum hirsutum Villarsii*	6,0
	y *Heracleum spondylium*	5,8
Pradera de	*Laserpitium panax*	5,6
Adenostyletum *alliariæ* en concurrencia con alisal	*Adenostyles alliaria*	5,6
Praderas de *Meum athamanticum*	*M. athamanticum*	5,5
	Laserpitium latifolium	5,5
Graminetum bajo bosque de alerces	*Luzula nivea*	4,9
Consocies de *Vaccinium myrtillus*, inmediata a dicho bosque	Determinación en el humus	4,9
Pinar de *cembra* en terreno primitivo	Máximo y mínimo obtenidos	4,8 4,4

Análogos ejemplos podríamos citar para la Península Ibérica, de la labor que hasta ahora llevamos hecha. Así, en la región húmeda del Norte y Noroeste se encuentran valores ácidos; v. g., refiriéndonos siempre al horizonte superficial: 5,75 en un suelo turboso de gándara seca (vegetación de tojos y ericáceas) de Guitiriz (Lugo); 5,87 en un pinar costero (de *Pinus silvestris)* próximo a la desembocadura del Miño; 6,1 en otro pinar de igual especie, en montaña, cerca de Figueirido (Pontevedra); 6,2 en un robledal de Abegondo (Coruña), y 6,2 también en los prados de Setién (Santander).

Dentro del área xerófita del interior, en el encinar del Pardo, y al pie de las encinas, sobre suelo silíceo, hemos hallado en general valores próximos al punto neutro, pero por debajo, es decir, ligeramente ácidos, v. g. 6,7 y 6,8; mientras que en las zonas desforestadas, ocupadas por la vegetación baja más xerófita que sucede al encinar, hemos hallado valores frecuentes de 6,9 a 7,3 en la pradera de gramíneas y en el retamar, y hasta de 7,3 al pie de las encinas testigos; es decir, que en esta zona desforestada e inmediata además al área caliza, se verifica el tránsito, en la España central, de la reacción ácida a la básica.

Yendo de este punto hacia la sierra, se encuentran a veces,

dentro de las mismas arenas silíceas, valores de pH relativamente bajos (hasta 5,7, al pie de una encina, en las proximidades del arroyo de Valdelapeña), aunque ello sea excepcional. En cambio, ascendiendo, en los granitos y gneis de la Cordillera Carpetana, al piso montano, con vegetación de robledo de *toza*, los valores de 5,2 a 6 son los más frecuentes. Más arriba, en el pinar de *silvestris*, más xerófito que el robledo, la mayor frecuencia se vuelve a elevar, de 5,9 a 6,0, aunque con mínimos de 5,2 y máximo de 6,5. Y por fin en el piso superior, el prado alpino, más xerófito todavía, da como mayor frecuencia, de 5,9 a 6,3, con mínimos de 5,6 y máximo de 6,35.

Partiendo de las arenas cuaternarias del llano en dirección opuesta, es decir, hacia el área caliza, en los encinares y robledos de *Quercus faginea*, así como en los coscojales y demás tipos de matorral que los substituyen tras la desforestación, lo mismo que en el tomillar que suele ser la última fase de este proceso destructivo (debido sobre todo al hombre y a su pastoreo), la reacción del suelo es francamente básica (alcalina) aunque moderada, oscilando sobre los substratos de marga y caliza y los mantos de grava más o menos rojizos, entre 7,3 y 7,5, con máxima frecuencia de 7,3 a 7,4 (en la determinación colorimétrica). En las áreas de vegetación gipsícola baja ligeramente: de 7,2 a 7,3. Los valores más altos dentro de la Meseta Sur, los hemos encontrado en la vegetación halófila que rodea a las lagunas y cañadas de la cuenca del Tajo y de La Mancha: de 7,5 a 8.

Como puede vislumbrarse por estos ejemplos, el valor de pH tiene un carácter, no sólo ecológico, sino geográfico. He aquí, como ejemplo, unas cuantas cifras expresivas de la gradación de estos valores, para el hemisferio del Norte, desde las cumbres alpinas y las altas latitudes de Finlandia hasta la zona subtropical del Mediterráneo.

Países	Porcentaje de los valores de pH hallados		
	<6	6-7	>7
Alpes de la Engadina. de 2.000 a 3.000 m. (225 muestras, según H. Jenny).	80	11	9
Finlandia (500 suelos, según W. Brenner). . .	70	29	1
Suecia (5.000 suelos, según O. Arrhenius). . .	18	56	26
Dinamarca (5.000 suelos, sg H. R. Christensen).	16	74	10
Italia (479 suelos, según O. Arrhenius). . . .	26	26	48
Meseta Sur de España (243 muestras, según H. del Villar).	18,2	25,6	56,2
Egipto (56 muestras, según O Arrhenius). .	0	0	100

En esta gradación se va desde los países fríos y húmedos del Norte hasta los cálidos y secos subtropicales. Pero el escalonamiento no es exclusivamente latitudinal, sino climático. Al entrar en los países tropicales lluviosos, el valor de pH vuelve a bajar del punto neutro en los suelos lateríticos, que representan por este concepto en la zona tórrida lo que el podsol en la templado-fría.

Las plantas cultivadas, y con ellas el rendimiento de su cultivo, aparecen también relacionadas con la reacción. Con frecuencia se oye todavía decir (incluso a gentes cultas en otros ramos del saber) que «los suelos ácidos no se pueden cultivar». Esto es absolutamente erróneo, como aparece en muchos de los ejemplos de este libro. Precisamente los mayores rendimientos en el cultivo de los cereales se obtienen en la Europa subnórdica en suelos ácidos. Lo que debe decirse es que no pueden cultivarse las plantas fuera de los límites de sus necesidades de reacción. Afortunadamente la mayoría de las plantas cultivadas tienen a este respecto una amplitud de acomodación suficiente, para que entren dentro de sus conveniencias las condiciones de muchos suelos. Sin embargo los límites existen y no deben despreciarse. Y además existe la complicación de que, entre las plantas cultivadas, cada especie se subdivide en un número mayor o menor de razas y variedades, y que cada una de éstas es susceptible de una idiosincrasia diferente en cuanto a exigencias de medio. Quizás se deba más bien a esto, que a los distintos efectos de la reacción según el concurso de los demás factores, el que los límites de valores de pH buenos para el cultivo de una planta varíen de un país a otro.

Arrhenius, a quien tantas veces hemos citado, ha calculado los límites de pH constitutivos de óptimo para los principales cultivos de Suecia, y ha encontrado los siguientes valores (1):

Cultivos	Valores óptimos de pH
Alfalfa	De 7,4 a 8,2
Remolacha azucarera	» 7,0 a 7,5
Trigo de invierno	» 6,7 a 7,6
Trébol rojo	» 5,9 a 6,5
Centeno	» 5,0 a 6,0
Avena (según la variedad)	» 4,7 a 7,9
Patata	» 4,7 a 5,6

(1) V. *Zeitsch. für Pflanzenernährung und Düngung*, 1925, pág. 197.

Para los suelos de lœs en el clima semiárido de Hungría, Von Kreybig da estos otros valores (1):

Cultivos	Valores óptimos de pH
Alfalfa	De 8,30 a 8,70
Rábano. . . .	» 7,60 a 8,50
Cebada. . . .	» 7,60 a 8,20, y de 6,10 a 6,50
Centeno. . . .	» 7,50 a 7,60
Trigo.	» 7.26 a 7,87
Avena	» 6,72 a 8,40
Trébol rojo. . .	» 6,00 a 7,40

En Alemania König y Hasenbäumer han determinado los límites de valores de reacción para la agricultura en conjunto, y han encontrado que, de 6,2 en adelante, como valor de pH, no cabe hablar de acidez perjudicial. De 5 para abajo en los suelos arcillosos y de 4,5 para abajo en los arenosos, la acidez es en general incompatible con la agricultura. En los límites intermedios no puede afirmarse con carácter general que la acidez impida el cultivo; ello dependerá en cada caso de la especie y variedad cultivada y demás condiciones (2).

El exceso de alcalinidad y el exceso de acidez con relación a las necesidades de cada especie y variedad, originan en las plantas un estado patológico. La sensibilidad a estas condiciones desfavorables del medio es también distinta para cada especie. Para Holanda, por ejemplo, J. Hudig ha puesto en serie diferentes especies cultivadas, por el concepto de su sensibilidad a esta condición ecológica. Así, para la avena, cebada, trigo, centeno, patatas y lino, este orden sería descendente en cuanto a sensibilidad para el exceso de alcalinidad, y ascendente respecto del exceso opuesto. Como la vida de los hongos y demás organismos, en general microscópicos, que originan enfermedades en las plantas, se halla también, según veremos, relacionada con la reacción, se explica que, más allá de determinados límites, no se presenten en las plantas ciertas enfermedades.

De que observaciones de todos estos fenómenos hechas en un país no resulten exactas en otro, no se debe deducir que en

(1) Ludwig v. Kreybig: *Beobachtungen über den Zusammenhang von Bodenreaction und Pflanzenertrag.* Transactions of the second Commission of the Int. Soc. of Soil Science, Groningen, 1926.

(2) V. *Landwirt. Jahrbücher*, t. 55, 1921, pág. 185-336.

el primero sean erróneas, sino que en el segundo no se ha estudiado el asunto; pues ni los factores del medio ni la raza o variedad de cultivo s on iguales en uno y otro. El detalle de esta materia corresponde a los tratados de patología vegetal, en los cuales no se podrá prescindir, si han de estar al día, del factor reacción.

Contra el exceso de acidez existe, como es sabido, el remedio del encalado. En algunos países costeros, como en Galicia, se aplica al terreno abono de algas, que son ricas en bases. La necesidad de cal se relaciona también con la vida microbiana. Christensen, que investigó en Dinamarca esta necesidad, llegó a este resultado general:

Con un valor de pH inferior a 5,7 todo suelo podrá calificarse de muy necesitado de cal.

Con valor de 5,7 a 6,0, de simplemente necesitado.

Con valor de 6,0 a 6,8 estaría necesitado si no tuviese *Azotobacter* (1).

Desde 6,8 para arriba desaparecería la necesidad de cal.

Por esta última razón podría decirse que la verdadera neutralidad práctica del suelo no se reduce estrictamente al valor de pH=7,0, sino que va de 6,8 a 7,1.

Contra el exceso de alcalinidad se emplea el sulfato de manganeso.

Pero, aparte de esto y del encalado, también en la aplicación de los demás abonos entra en juego la reacción. Muchos de ellos «como el cloruro y sulfato de amonio y el superfosfato son, por sí mismos, ácidos; otros como las escorias Thomas y los demás calizos, tienen reacción alcalina. Mas por su intercambio con las plantas, puede alterarse la reacción de la mayoría, incluso de los neutros. Unas veces el catión de la sal es absorbido más enérgicamente por la planta y la reacción del suelo se vuelve ácida *(abonos fisiológicamente ácidos);* otras es el anión el que con mayor avidez toman las raíces, y la reacción tiende hacia la alcalinidad (abono fisiológicamente alcalino). A. Meyer llamó hace ya tiempo la atención sobre estos cambios. H. Kappen ha hecho recientemente nuevos estudios comparativos sobre ellos» (2). Según él resultarían *abonos fisiológicamente*

(1) Véase el capítulo siguiente.

(2) G. WIEGNER: *Anleitung zur quantitativen agrikulturchemischen Prakticum*, 1926. Los trabajos de KAPPEN, que cita, en «Mitteilungen der Deutschen Landwirt. Gesellschaft, 1924.

ácidos: el cloruro y sulfato de amonio típicamente; los cloruros de potasio y magnesio y el sulfato de potasio, generalmente; el nitrato de amonio en determinadas circunstancias; y el sulfato de calcio en los suelos pobres en cal. Y resultarían, en cambio, *abonos fisiológicamente alcalinos:* el nitrato de sodio, el carbonato de calcio, la cal y el fosfato tricálcico típicamente; el fosfato de Renania, las escorias Thomas, los nitratos de potasio y de calcio generalmente; el carbonato de amonio y superfosfato en determinadas circunstancias (a pesar de que el último da por sí solo reacción muy ácida). En los suelos de la Europa Media que Kappen estudió, estos cambios de reacción se manifestaban sobre todo en las tierras arenosas. En las arcillosas, calizas y ricas en humus, eran menos manifiestos. No tengo noticia de que en España se hayan publicado estudios análogos. Si se hicieran, es posible que en unas comarcas se encontrasen iguales resultados y en otras no. Pero esto no quiere decir que las observaciones de Kappen no sean exactas. Lo que pasa es que esos fenómenos se notan sobre todo en suelos de reacción relativamente poco estable; suelos que se califican de mal o poco atopados, como son los suelos arenosos y generalmente más o menos ácidos de la Europa media y septentrional. En España, en cambio, hay grandes extensiones de suelos muy atopados, siéndolo todos los calizos y yesosos del área seca (1).

De la dispersión de substancias solubles en los jugos del suelo resulta también otro orden de fenómenos, a los cuales quizá no se preste hoy toda la atención que merecen, pero que han sido tenidos muy en cuenta en Fisiología vegetal: los de la *presión osmótica.* Estos fenómenos tocan directamente a la absorción de los alimentos y del agua por las plantas. Los tejidos vegetales están formados por células y elementos alargados que son transformaciones de células. La célula es el elemento activo de la vida vegetal. Las células vegetales constan de una masa

(1) Efecto tope (*buffer action* en inglés, *Puffer* en alemán, *tampon* en francés) es el que ejercen ciertas substancias que tienen la propiedad de proteger la estabilidad de la reacción. En suelos muy atopados, no importa que pase mucho tiempo entre la toma de muestra en el campo y la determinación del pH en el laboratorio (hemos hecho la comprobación hasta con cinco años de intervalo). Mientras que en los poco atopados, la determinación no puede retardarse, porque el valor de pH se altera.

viva llamada protoplasma (muy compleja en su composición y estructura), que encierra una parte especialmente diferenciada llamada núcleo, y que está envuelta por una membrana de celulosa. El intercambio entre la célula y su medio se realiza a través de esa membrana.

Si en el orden físico se toma, como hizo Dutrochet en 1926, una bolsa hecha de una membrana orgánica, se ata en el extremo inferior de un tubo de vidrio, se llena de una solución densa, v. gr.: de azúcar o de goma, y se introduce en un vaso de agua destilada, dejándolo todo en reposo; al cabo de cierto tiempo se comprobará que el líquido ha subido en el tubo que comunica con la bolsa y ha bajado exteriormente a ésta en el vaso; que la solución de la bolsa es menos densa, y que el agua exterior contiene algo de la substancia puesta por nosotros en la bolsa. Esto quiere decir que, a través de la membrana de la bolsa, se ha establecido un intercambio, predominando el paso del líquido menos denso al más denso. De la intensidad del fenómeno (endósmosis) es medida la diferencia entre el nivel primitivo del líquido en la columna y el que tiene al fin del experimento. Si el líquido denso se pone en el vaso y el agua en la bolsa y su tubo, el fenómeno será inverso: bajará el nivel en el tubo y subirá en el recipiente exterior, cuyo contenido disminuirá así de densidad (exósmosis). En el medio donde vive el vegetal, agua, si es acuático, o tierra húmeda, que equivale a decir jugos del suelo, la célula es la bolsa y la absorción la endósmosis; con la diferencia de que aquí el fenómeno no es únicamente físico, sino bio-físico, es decir, que se complica con las leyes de la vida. Pero, en el aspecto físico, la turgencia de una célula guarda relación con la diferencia entre la densidad (que en sus efectos equivale a «presión osmótica») de su interior, y la del medio exterior. Cuanto mayor sea la presión osmótica en el medio, más necesita la célula concentrar su jugo. Como los límites de estas presiones varían de unas plantas a otras y también en los distintos medios, la presión osmótica del medio será una de las condiciones de adaptabilidad a él para cada especie o variedad vegetal. En el medio acuático uno de los principales elementos determinantes de la presión osmótica es la sal común o cloruro de sodio. He aquí las presiones equivalentes al estado de concentración de sus soluciones, y también, para comparación, las de un nitrato.

CUADRO VI

TANTO POR CIENTO DE SAL DISUELTA	PRESIÓN OSMÓTICA DE LA SOLUCIÓN	
	Para el cloruro de sodio	Para el nitrato de potasio
0,5	3,05 atmósferas	1,75 atmósferas
1,0	6,09 »	3,50 »
1,5	9,14 »	5,25 »
2,0	12,18 »	7 »
2,5	15,23 »	8,75 »
3,0	18,27 »	10,50 »
3,5	21,32 »	12,25 »
4,0	24,36 »	14 »
4,5	27,41 »	15,76 »
5,0	30,47 »	17,50 »

He aquí ahora la concentración de sales disueltas en algunas aguas naturales:

	Tanto por ciento de substancias disueltas
Agua del Canal del Lozoya, que surte a Madrid y procede de una cuenca granítico-gneísica de la Cordillera Carpetana.	0,0058
Término medio de 19 grandes ríos del globo, según John Murray.	0,0152
Aguas de drenaje de tierras no abonadas en la Europa mesofítica, según Hilgard . . . . . mínimo.	0,0139
medio.	0,0353
máximo.	0,0721
Aguas minerales de Archena (España), provincia de Murcia.	0,3530
Término medio del agua del mar, según Regnault. .	3,5050
Aguas minerales de Carabaña (España, provincia de Madrid)	12,0516

En armonía con estas dos series de cifras, la presión osmótica es muy baja en las aguas dulces; pero pasa de veinte atmósferas en el agua del mar, y en las aguas salinas interiores puede ser aún mucho mayor. En los jugos de las células vegetales, la presión osmótica varía entre tres atmósferas, que se considera el mínimo, y veintitantas.

El agua dulce podrá así ser medio apto, y lo es en efecto, para plantas de presión osmótica mínima en sus jugos ce-

lulares. Estas plantas no podrán en cambio vivir en aguas fuertemente saladas, donde la endósmosis les resultaría imposible.

Análogamente ocurren las cosas en el suelo o medio terrestre, que en realidad no se diferencia del llamado acuático sino en las invertidas proporciones de elemento sólido y líquido. La naturaleza de este último, es decir, de los jugos del suelo, depende de todo el complejo de fenómenos que en el suelo sabemos que interviene; pero su presión osmótica se relaciona directamente con las substancias que llevan en solución, por consiguiente con los elementos movilizados y solubles. En los suelos salinos (o alcalinos) éstos se hallan en máxima proporción; sus jugos alcanzarán por consiguiente las más altas presiones osmóticas. Y ahora comprenderemos por qué estos suelos expulsan a la vegetación típica regional y sólo dan acogida a las especies llamadas halófilas. Estas especies tienen también, como las plantas marinas, las más altas presiones celulares del mundo vegetal; por eso es posible que puedan absorber los jugos de tales suelos. Las especies de débil presión osmótica e imposibilitadas de concentrarla más, no pueden efectuar tal absorción, porque las condiciones osmóticas entre su organismo y el suelo están invertidas.

Los suelos no salinos, pero con coloides bien saturados, y consiguientemente ricos en elementos movilizados como son los humoso-calizos; así como los yesosos, dada la moderada solubilidad del yeso, seguirán a los suelos salinos, aunque a distancia, en cuanto a concentración de jugos. En cambio los suelos silíceos, sin cal ni yeso, y pobres en elementos de cambio, tendrán en sus jugos presiones osmóticas mucho más bajas, y éste es uno de los puntos que aclara la diferencia entre la vegetación calcícola y la silicícola. Las especies vegetales de presión osmótica baja no pueden efectuar la endósmosis en suelos calizos y yesosos de jugos densos y presión osmótica por lo tanto elevada; por eso huyen de ellos; por eso son calcífugas. La escasa densidad y presión osmótica de los jugos llega a su extremo en las tierras muy ácidas de humus no saturado, y en los horizontes podsolados en que la proporción de bases y demás elementos solubles de cambio llega al mínimo. Este medio terrestre es el que más se parece al de agua dulce, y realmente, en las turberas se pasa insensiblemente de uno a otro. Las especies típi-

cas de estos medios son de una presión osmótica celular mínima también, y no podrían vivir en medios más densos.

Gola ha sido el autor que más ha hecho resaltar la importancia de la presión osmótica en el suelo y en sus relaciones con la vegetación (1). Resultado de experimentos suyos, haciendo germinar semillas sobre carbón triturado y lavado, e impregnado luego de soluciones electrolíticas de distinta concentración, son las siguientes cifras que demuestran claramente el límite que el grado de presión osmótica del suelo pone a la vida de las diferentes especies vegetales.

CUADRO VII

ESPECIES ESTUDIADAS	CONCENTRACIÓN MÁXIMA, POR CIENTO, DE UNA SOLUCIÓN DE NITRATO QUE PERMITIÓ UNA GERMINACIÓN	
	normal	cualquiera
Salsola soda	3,0	4,0
Polypogon monspeliensis	3,0	4,0
Salsola kali	3,0	3,5
Amaranthus patulus	2,5	3,5
Lychnis gisthago	2,0	3,0
Genista radiata	2,0	3,0
Spergula arvensis	2,0	3,0
Papaver rhoeas	—	3,0
Triticum sativum	1,5	2,5
Lepidium campestre	1,5	2,0
Æthionema thomasianum	1,0	2,0
Iberis sempervirens	—	2,0
Cistus fumana	—	2,0
Sesleria cærulea	—	2,0
Digitalis purpurea	0,5	1,0
Vicia cracca	0,5	1,0
Rumex alpinus	—	1,0
Scleranthus perennis	0,5	0,9
Lythrum salicaria	0,8	0,8
Jasione montana	0,5	0,8
Aira caryophyllea	—	0,8
Trifolium arvense	—	0,6
Genista scoparia	0,4	0,5

(1) G. GOLA, *Studi sui rapporti tra la distribuzione delle piante e la constituzione fisico-chimica del suolo*, Turín, 1905; y *Saggio di una teoria osmotica dell'edafismo*, «Annali Botanici», Roma, 1910.

Como en el máximo de densidad de jugos, la causa es la abundancia de sales solubles, y en los casos de mínimo aparecen los coloides insaturados en desequilibrio preponderante, Gola tomó de estos dos grupos de substancias la base etimológica para la calificación de los suelos desde este punto de vista de la presión osmótica (1). En consecuencia llamó plantas *perhalícolas,* a las que habitan los suelos y aguas de máxima presión osmótica, como son las de las aguas saladas y suelos salinos y ruderales (plantas nitrófilas estas últimas); *halícolas* a las propias de terrenos calizos y suelos cultivados (vegetación arvense); *gelícolas* a las de los terrenos silíceos simplemente, en general de una acidez moderada o mediana; y *pergelícolas,* a las propias de terrenos de humus más o menos ácido: podsol, turberas, etc. Análogamente, divide los suelos en dos grandes clases: *suelos haloides* y *suelos geloides;* a los primeros corresponden las plantas halícolas y perhalícolas; a los segundos las gelícolas y pergelícolas. Nosotros hemos aplicado a los mismos conceptos, denominaciones derivadas del mismo fenómeno que se trata de expresar, y hemos calificado sencillamente de *picnopiésmicos* los suelos (y medios en general) de altas presiones osmóticas; y de *leptopiésmicos* a los de bajas concentraciones y presiones; usando además el calificativo de *mesopiésmicos* para los casos intermedios (2).

Este aspecto de la presión osmótica aclara el porqué hay (paralelamente a lo que ocurre con la vegetación natural) cultivos que requieren suelos silíceos y sueltos, y otros que exigen tierras calizas, pingües, y hasta que toleran un medio algo salino.

(1) *Sal* en griego es *hals, halós;* y el coloide se alude en la palabra *gel* correspondiente a una de sus modalidades. *Per* es un prefijo griego de ponderación, equivalente aquí a «muy».

(2) Del griego *piesmós,* presión; *picnós,* denso; *mesos,* mediano; y *leptós,* débil.

CAPÍTULO V

BIOLOGÍA DEL SUELO

El suelo sirve de soporte y medio nutritivo a la vez, a los organismos visibles a simple vista, y muchos de gran tamaño, que llamamos plantas superiores, así como de base, y al mismo tiempo medio de albergue, a una gran parte del reino animal. Pero, además, está habitado por infinidad de seres pequeñísimos, sólo visibles al microscopio y algunos sólo con los mayores aumentos. Su conjunto se considera como un elemento integrante del suelo mismo, con el nombre de *édafon*, análogamente al plankton o suma de elementos vivos microscópicos del agua.

En el édafon entran elementos animales y vegetales. Los primeros corresponden al grupo zoológico inferior de los protózoos; los segundos a los grupos, también inferiores, de los hongos y algas. En rigor estas denominaciones no corresponden ya a las clasificaciones modernas; pero se siguen empleando en el lenguaje corriente, y ésta es la única manera de hacer algo comprensible la respectiva naturaleza de estos organismos a quienes no sean naturalistas.

La diferencia esencial entre los hongos y las algas (y a la vez entre los hongos y casi todo el resto del reino vegetal) es la ausencia en los primeros de clorofila y, por consiguiente, de la correspondiente función fisiológica. La clorofila es la substancia verde característica de casi todas las plantas vasculares, de los musgos y de las algas, y la función de que se trata la síntesis de los hidratos de carbono. Mediante esta función las plantas pueden tomar el carbono necesario para formar su propia substancia (no hay materia orgánica sin carbono) del anhídrido carbónico (CO_2) que existe siempre, en pequeña proporción, en el aire. Esta función se verifica en las partes verdes, principalmente las hojas, provistas de agua mediante la absorción que

hacen de ella en el medio acuático o en la tierra. El proceso interno de este fenómeno bio-químico no se conoce; sólo se reconstruye por hipótesis. Lo que sí se conoce es el principio y el fin de la operación; que por lo tanto puede expresarse por la siguiente fórmula:

$$\underset{\text{Anhidrido carbónico}}{6\ CO_2} + \underset{\text{Agua}}{6\ H_2O} = \underset{\text{Glucosa}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{Oxígeno}}{6\ O_2}$$

De modo que, aunque estas plantas necesitan también consumir oxígeno para respirar, por otra parte lo desprenden como resultado de la función clorofílica, y en cantidad mucho mayor. Como esta función se ejecuta utilizando la energía solar, deja de tener lugar en la obscuridad; por eso un bosque es un foco de oxigenación durante el día; pero deja de tener esta significación por la noche. Mediante esta función clorofílica, las plantas capaces de ella se proveen de carbono y transforman la materia inorgánica en orgánica. La glucosa es uno de los muchos compuestos orgánicos; pero el fundamental. Mediante un proceso que, juzgado por sus efectos, es una concentración con pérdida de los elementos del agua, la glucosa pasa a la forma química de almidón, que viene a ser su estado de reserva, mientras el primero es el de actividad; transformación que puede representarse (prescindiendo de las etapas intermedias, que desconocemos) por:

$$\underset{\text{Glucosa}}{n\ (C_6H_{12}O_6)} - \underset{\text{Agua}}{n\ H_2O} = \underset{\text{Almidón}}{(C_6H_{10}O_5)^n}$$

Por procesos igualmente químicos o bioquímicos se originan, con esta base de provisión de carbono, las demás substancias de las plantas en cuestión. Estas plantas se han llamado por eso *autótrofas* (del griego *autós,* él mismo, y *trofós,* que alimenta), es decir, «que se alimentan por sí mismas»; mientras que se llaman *heterótrofas* (del griego *héteros,* otro, y *trofós*) las que no pueden hacerlo, sino que han de tomar los productos carbonados elaborados por otras. En este caso están las englobadas antes en la denominación general de hongos, y algunas plantas superiores que, acomodadas a la vida parasitaria, han perdido la clorofila con su función correspondiente, como por ejemplo las orobancáceas y algunas orquídeas.

En cambio, las plantas dotadas de clorofila no tienen organización adecuada para tomar el nitrógeno de los medios en que es más abundante, a saber, el aire y las substancias orgánicas. Y el nitrógeno les es también indispensable; pues así como no hay substancia orgánica sin carbono, tampoco hay substancia orgánica viva sin nitrógeno. Pero aquí se invierten los papeles. De un modo general, las plantas con clorofila necesitan, para proveerse de nitrógeno, que éste se halle en forma nítrica, que no exista aislado, sino unido a una base, es decir, en forma de nitratos que son sales muy solubles. En cambio entre las plantas sin clorofila, lo más general es la vida saprófita (es decir, sobre substancias orgánicas en putrefacción) o parásita (es decir, a expensas de otro ser autótrofo), tomando así de medios orgánicos los productos nitrogenados, y muchas pueden fijar el nitrógeno directamente del aire.

En virtud de esta diferencia de necesidades y facultades, la planta verde y la privada de clorofila pueden llegar en cierta medida a complementarse, y de aquí la estabilidad de la íntima asociación vital que muchas veces forman, y que ha recibido el nombre de *simbiosis*. Esta palabra viene del griego *sun (= syn)*, con, y *bios*, vida; y equivale así etimológicamente (aunque no en su significado científico actual) a la neolatina de *convivencia*. El caso más aparente es el de los líquenes. Los líquenes son esas plantas, raras para el profano, que con aspecto de cortecitas más o menos minuciosamente recortadas, revisten el suelo, las piedras, los muros y los troncos y ramas de las especies leñosas. Si se hace una sección transversal en el talo (o cuerpo vegetativo) de un liquen, se ve, entre los dos estratos corticales (si existen), una masa intermedia formada por dos clases de elementos: unos filamentos sin clorofila más o menos densamente entrelazados en fieltro, y unos cuerpos celulares las más veces, filamentos algunas, de color verde. Los filamentos en fieltro son de un hongo; las células o filamentos verdes, una alga. Cuando el liquen vive sobre un medio orgánico vivo o en putrefacción, el intercambio de servicios entre hongo y alga llega al máximo del mutualismo posible: el alga fija el carbono mediante la función clorofílica que el hongo no puede ejecutar; y en cambio el hongo provee al alga de alimentos que absorbe del medio, mejor que el alga, incluso los nitrogenados. Una asociación vital parecida se verifica entre las raíces de muchas plantas su-

periores, incluso grandes árboles, y determinados hongos que las envuelven y compenetran con sus filamentos. Estos filamentos (en todos los hongos) se llaman hifas, y la simbiosis de la raíz con el hongo, *micorriza,* del griego *muke (= myke),* hongo, y *rhiza,* raíz.

Otros organismos inferiores facilitan la vida de las plantas superiores, sin necesidad de esta compenetración biológica: elaborando los productos de que las primeras necesitan nutrirse, como ocurre en el caso del nitrógeno, que es el fundamental. La fuente principal de nitrógeno son los mismos cuerpos muertos de las plantas. Mas, para que dicho nitrógeno llegue a la forma asimilable que necesitan las plantas superiores, es necesario que los restos vegetales se transformen en humus, y de éste resulten sucesivamente amoníaco, nitritos y nitratos. Los agentes de estas transformaciones son plantas inferiores, bacterias, antes englobadas también en la denominación general de hongos, y que existen en el suelo en cantidades prodigiosas.

También hay bacterias que pueden vivir, como los hongos antes citados, en simbiosis con las plantas superiores y suministrar a éstas el nitrógeno que pueden fijar directamente. Tal ocurre con las que, con el nombre de *Bacterium radicicola,* determinan la formación de nudosidades en las raíces de las leguminosas.

Y por fin otras bacterias (género *Azotobacter),* que, sin simbiotizarse con plantas superiores, fijan el nitrógeno del aire y enriquecen con él el suelo.

Así, aunque la fuente principal de nitrógeno para la vida vegetal sea el humus, otro origen del nitrógeno, inmediata o mediatamente aprovechable para la vegetación superior, lo constituye la fijación directa de dicho cuerpo, tomándolo del aire, por varios organismos inferiores, unos en simbiosis con la planta superior y otros libres.

Antes de continuar pongamos un poco de orden y precisión en la idea de estos diferentes organismos. Los que más abundan en el suelo y más interesan a nuestro propósito son los vegetales. Ya hemos dicho que el englobe en los dos grandes grupos de hongos y algas, el primero sin clorofila y el segundo con clorofila, aunque cómodo para el lenguaje vulgar, no corresponde ya al estado actual de la ciencia. Se ha visto, en efec-

to, que, por una parte, no se puede establecer de un modo absoluto esta división, y, por otra parte, existen motivos más profundos para establecerla entre partes de cada grupo, así como en uno y otro se manifiestan lazos determinados de mayor afinidad.

Tanto en uno como en otro grupo se distinguen hoy diferentes tipos; pero los dos tipos inferiores de uno y otro grupo antiguo forman un conjunto más armónico; y los demás tipos otro radicalmente distinto del primero. Esos dos grupos inferiores son los de las Esquizofíceas, para las antiguas algas, y Esquizomícetes, para los antiguos hongos. Tanto un tipo como otro se componen de individuos realmente unicelulares, aunque puedan reunirse en agregados formando filamentos o películas. Su reproducción típica se hace por división celular (esquizogénesis), y de ahí sus nombres respectivos, aunque en algunos, como el *Bacillus amylobacter*, se forman también esporas. Tanto un tipo como otro tienen representación en el suelo. Las especies del grupo Esquizomícetes son las llamadas, en el lenguaje ordinario, bacterias, y son las que más abundante representación tienen en la tierra Las Esquizofíceas se han llamado también algas azules: su representación en el terreno es menos abundante; pero en cambio apreciable a simple vista. En los terrenos húmedos, en nuestro clima durante las lluvias de otoño sobre todo, se ven con frecuencia unas manchas verdoso-azuladas, a veces de color muy intenso, que son debidas al género *Oscillatoria*, correspondiente a este tipo. También son visibles las manchas de *Nostoc*, que forman colonias de aspecto gelatinoso: verdes, azuladas, rojizas, etc.

En oposición a este conjunto natural de Esquizofíceas y Esquizomícetes, que puede englobarse en la denominación general de Esquizófitos, los demás tipos de algas y hongos constituyen otro conjunto en la base del cual está el tipo de los Flagelados, del que parecen derivar, inmediata o mediatamente, los restantes (1). Cuando de aquí en adelante hablemos de hongos o algas,

(1) Los Flagelados son organismos que constan de una célula con uno o varios flagelos, que les permiten movimientos de traslación. El grupo comprende animales y vegetales. Todavía se reproducen por división celular; pero también existe entre ellos la reproducción conjugada, aun cuando nos sea muy poco conocida. La descubrió G. Haase en la *Euglena sanguinea*. Por otra parte la forma de flagelado es la que toman ciertas esporas de otros tipos de este conjunto, llamadas zoosporas.

se entiende que nos referiremos sólo a los tipos de este segundo conjunto, con exclusión de los Esquizófitos (1).

En rigor no es exacto calificar de microorganismos a todos los que intervienen en la biología del suelo, pues los hay más o menos visibles a simple vista. Entre los vegetales, aun cuando el estudio anatómico requiera para todos el microscopio, los hay perfectamente aparentes, ya en colonias, como las de las Esquizofíceas citadas, ya individualmente, como muchos hongos macroscópicos. Y entre los animales más aún. En realidad no cabe señalar un límite brusco al édafon o población del suelo. Así los líquenes terrícolas, por ejemplo, son difíciles de separar de él. En el comienzo de la unión simbiótica del hongo y el alga, uno y otro pertenecen francamente a la población microbiana del suelo, y los restos de los líquenes adultos al suelo se incorporan de nuevo. En las micorrizas hay especies de hongos con fructificación perfectamente macroscópica (carposoma de sombrerillo u hongo del vulgo). En cuanto a la población edáfica animal, que empieza por los protózoos o formas unicelulares elementales, tiene representantes en el tipo de los gusanos (lombrices de tierra), en el de los moluscos (gasterópodos), en el de los articulados (insectos libres, parásitos de las raíces, etc.), y hasta en el superior de los vertebrados, a que pertenecen los animales que construyen en el suelo sus madrigueras, como el conejo y otros mamíferos. La importancia en el suelo de los animales macroscópicos, es mayor de lo que vulgarmente se cree. Las lombrices de tierra actúan produciendo en él oquedades y enriqueciéndolo con sus deyecciones. Darwin calculó que, en climas húmedos, las lombrices revuelven al año una capa de suelo de 2,5 a 5 milímetros. Hacen con esto el suelo más suelto y el agua utilizable en mayor proporción para las plantas, pues, cuanto más suelta es la tierra, menos la retiene. Las lombrices caracterizan sobre todo las tierras húmedas y margosas. Los insectos, especialmente en estado de larva, contribuyen también a hacer el suelo más suelto y a enriquecerlo de materia orgánica; pero además hacen más uniforme la distribución de humus. Los mamíferos con sus madrigueras revuelven asimismo los materiales del suelo, fomen-

(1) Excluidos los Esquizófitos, los tipos o divisiones de primer orden que hoy se admiten son: para las algas, los de Flagelados, Peridíneas, Diatomeas, Conjugadas, Heterocontas, Cloroficeas, Rodoficeas, Feoficeas y Caroficeas; y para los hongos, los de Mixomicetes, Ficomicetes y Eumicetes.

tando su aereación a la par que aumentan su soltura. En cambio pueden constituir también una plaga para la vegetación.

El estudio de los organismos del suelo en sí, vegetales o animales, corresponde a la Botánica y a la Zoología respectivamente; y, por lo que hace a los microorganismos, a la Microbiología. Pero como esos diversos organismos, aunque independientes sistemáticamente, viven reunidos en el suelo que es un medio especial, esas ciencias generales, sobre todo la Microbiología, han de especializar sus métodos cuando toman el suelo por campo de investigación. Y, por otra parte, los resultados de esos estudios tienen una aplicación especial al conocimiento de los fenómenos edáficos y de la relación entre el suelo y la vegetación superior, y esto obliga a enfocar en determinados sentidos las investigaciones biológicas. Por todas estas circunstancias la Biología del Suelo constituye una disciplina aparte, de la que la Ciencia del Suelo *stricto sensu* ha de tomar los resultados.

Para los microorganismos, el medio edáfico puede considerarse como una masa coloide, en parte orgánica, en parte mineral (el complejo arcilla-humus), que aglutina partículas minerales, se halla más ó menos saturada de agua, y está rodeada de una atmósfera menos rica en oxígeno que el aire exterior. Este medio ofrece dificultades especiales a la investigación del microbiólogo. Las que presenta el examen directo han hecho que los microorganismos del suelo se estudien de preferencia en cultivos de laboratorio. Pero este medio no permite apreciar el estado de tales organismos en un suelo determinado. El cultivo y el suelo son medios muy diferentes. No hay motivo para suponer que el microorganismo ha de vivir y reaccionar igualmente en ambos. Durante algún tiempo se creyó erróneamente así. Hoy se reconoce que es un razonamiento falso el de que, si un microbio origina un cambio en un medio de cultivo, lo originará en el suelo igualmente. Por eso la tendencia actual de la Microbiología del suelo es la de los métodos directos: en lugar de estudiar la biología del microorganismo en un medio artificial, estudiarla en el suelo. Para esto el modo de reconocer aisladamente la actuación de cada especie, es empezar por esterilizar un suelo, y luego se le van inoculando, sucesivamente, las especies que se quieren estudiar.

Otro error en el cual se ha estado algún tiempo es el de creer

que había una correspondencia rigurosa y exclusivista entre especies y funciones o efectos químicos de ellas en el suelo. A cada fenómeno debía corrresponder una especie distinta o grupo de especies. Así se hablaba de bacterias de la putrefacción que transformaban los restos vegetales en humus; bacterias amoniacales, que transformaban el humus en amoníaco; bacterias nitrosas, que de éste fabricaban nitritos; nítricas, que elevaban los nitritos a nitratos; y desnitrificantes, que originaban la reducción de los nitratos y nitritos. Hoy se sabe que son pocas las reacciones limitadas a una sola especie o grupo de ellas; y que son pocos los microorganismos que sólo presiden a una función bioquímica. Constituyen excepción, por lo que hace a las bacterias o esquizomícetes, las nitrificantes y las fijadoras de nitrógeno libre (1).

A las primeras corresponde el *Nitrobacter* o *Bacterium nitrobacter*, que tiene la facultad de procurarse energía oxidando substancias inorgánicas: así transforma los nitritos en nitratos (2), y facilita a las plantas superiores el nitrógeno en la forma soluble en que éstas lo necesitan.

Las fijadoras de nitrógeno se dividen en dos grupos: unas viven libres, y otras en simbiosis con las plantas superiores. Entre las primeras las hay aerobias, anaerobias facultativas y anaerobias constantes. Las aerobias se llaman así, porque no toleran en su medio un límite de oxígeno inferior al del aire. Las anaerobias son las que se encuentran en el caso contrario (3).

Al grupo libre y aerobio pertenecen dos especies hoy bien determinadas: el *Azotobacter chroococcum* y el *A. agile*. Otras formas del mismo género que se han considerado como especies independientes con los nombres de *A. Beijerinckii, A. Smyrnii, A. Vinelandii*, etc., se reducen hoy a aquéllas. Del anaerobio facultativo es representante el *Bacillus asterosporus*. En el anaerobio constante la primera forma conocida fué descubierta por

(1) E. J. RUSSELL: *The present status of soil microbiology*. Proceedings... of the First Intl. Congr. of Soil Science (Washington, 1927), vol. I (1928), págs. 36 y siguientes.

(2) Por ejemplo:

$$\underset{\text{Nitrito de sodio}}{NaNO_2} + \underset{\text{Oxígeno}}{O} = \underset{\text{Nitrato de sodio}}{NaNO_3}$$

(3) Véase C. STAPP: *Die Stickstoffbindung durch Bakterien*. Proc. of the First Intl. Congr. of Soil Science, vol. III (1928), págs. 125 y siguientes.

Winogradsky, que la llamó *Clostridium pasteurianum*. Posteriormente se han señalado otras varias bacterias de igual reacción, unas asignadas a ese mismo género, y otras al de *Bacillus* o al de *Granulobacter*, reunidas últimamente por Bredemann en la especie *Bacillus amylobacter*. Si los *Clostridium* son absolutamente identificables o no con ella, es problema no resuelto como opinión general. Estos tres grupos son cosmopolitas y se encuentran, más o menos, en la mayoría de los terrenos; pero el *Bacillus asteroporus* parece tener, según Stapp, mayor predilección por los suelos cultivados.

Al grupo simbiótico de los fijadores de nitrógeno pertenecen los microorganismos llamados en un principio bacterioides, que viven en las raíces de las leguminosas, determinando en ellas nudosidades características, y proporcionan a la planta huésped el nitrógeno, que pueden tomar del aire. Hellriegel y Willfarth fueron los descubridores de esta función y sus agentes, a quienes se ha estado designando con el nombre general de *Bacterium radicicola* (= *Bacillus radicicola* Beijerinck = *Rhizobium leguminosarum* A. Frank). Pero luego se ha reconocido que no se trata de una especie única, sino de un grupo de especies que pueden variar según la planta huésped. La realidad de la función de estas bacterias se puede demostrar muy fácilmente. Se toma una raíz de leguminosa con nudosidades, y se pica una de éstas con una aguja previamente esterilizada, e inmediatamente se introduce la misma aguja en una raicilla joven, por ejemplo de guisante, que no tenga todavía nudosidades. Así inoculada la segunda planta, se pone en un cultivo de arena esterilizada, regándola con una solución mineral que no tenga nitrógeno en ninguna forma. Como testigo, se cultiva aparte de igual modo otra plantita joven de guisante no inoculada. La plantita inoculada desarrollará nudosidades y crecerá vigorosa. La no inoculada languidecerá y morirá por falta de nitrógeno. El que ha utilizado la primera no puede venir, por consiguiente, más que del aire por medio de las bacterias radicícolas. Así las leguminosas enriquecen el terreno en nitrógeno, en lugar de empobrecerlo; y de aquí su importancia en las rotaciones y la parte que se les asigna en el llamado sistema cereal. La actuación de estas bacterias radicícolas se asemeja así por su forma a la de los hongos de las micorrizas, entre los cuales hay también asimiladores de nitrógeno.

Una expresión sintética de la fertilidad del suelo por su riqueza en microorganismos, o, más concretamente, de organismos libres, de las diferentes funciones, no ha llegado a encontrarse. A falta de ella se utilizan ciertos valores, como índices relativos; v. g.: el número de bacterias o del conjunto de microorganismos libres por gramo de suelo; su potencia respiratoria total; la potencia total nitrificante y la fijadora de nitrógeno.

El número de microorganismos, sobre todo de bacterias, puede llegar a contarse, no sólo por miles, sino hasta por millones en cada gramo de tierra: pero se reparte diversamente en el espacio y en el tiempo; variando, incluso hasta anularse, según las condiciones de ese medio edáfico, entre las cuales figura en primerísimo término la reacción. Para dar una idea de la cantidad y distribución de bacterias en el suelo, citaremos dos ejemplos: uno de Stoklasa y otro de Brown y Benton.

El de Stoklasa es el resultado general de treinta años de estudios en territorio de la actual Checoeslovaquia, con referencia a la tierra de la rizósfera de las plantas cultivadas. Este resultado se sintetiza en las cifras del cuadro VIII (1).

CUADRO VIII

Plantas cultivadas en cuya rizosfera se hicieron las observaciones	Millones de bacterias en cada gramo de suelo	Potencia respiratoria en mgr. de CO_2 por kilogramo con 20 % de agua y a 20° en 24 horas
Cereales.	40 a 56	60 a 70 mgr.
Remolacha azucarera.	70 a 80	70 a 78 »
Leguminosas.	100 a 120	90 a 100 »

El ejemplo de Brown y Benton es analítico. Los estudios fueron hechos en el estado de Iowa (E. U.) en dos tipos de suelo allí característicos, el limo de Carrington y el limo arenoso de Lindley. El objeto principal fué investigar la distribución de microorganismos en el sentido vertical, y se hicieron en 14 suelos. En el cuadro se transcriben las cifras relativas a las bacterias

(1) J. STOKLASA: *Microbes et fertilité du sol*. Actes de la IV Conf. Intern. de Pédologie, Rome, 1924; vol. III (1926).

en los que dieron para la superficie las cifras máxima y mínima respectivamente (1).

CUADRO IX

Suelo (y fecha) (2)	Horizonte y su profundidad en pulgadas	Humedad por 100	Número de bacterias por gramo de tierra seca al aire
Carrington loam N.° 1 (20 de junio)	A_1 De 0 a 2	9	8.630.000
	A_2 » 2 » 12	16	5 710.000
	A_3 » 12 » 18	15	3 650.000
	B_1 » 18 » 26	14	372.000
	C_1 » 26 » 36	13	42.900
	C_2 » 36 » 50	14	4.380
Carrington loam N.° 7 (25 de agosto)	A_1 De 0 a 2	11	3 146.000
	A_2 » 2 » 6	15	2.059.000
	A_3 » 6 » 15	16	2.500.000
	B_1 » 15 » 26	18	414.000
	C_1 » 26 » 35	19	24.600
	C_2 » 35 » 50	19	5 300
Lindley sandy loam N.° 14 (11 de noviembre)	A_1 De 0 a 2	7	5 270.000
	A_2 » 2 » 6	9	4.830.000
	A_3 » 6 » 15	10	4.060.000
	B » 15 » 18	10	751.000
	C_1 » 18 » 32	18	60.000
	C_2 » 32 » 50	15	12.000
Lindley sandy loam N.° 10 (20 de septiembre)	A_1 De 0 a 2	5	3 580.000
	A_2 » 2 » 6	8	3.910.000
	A_3 » 6 » 16	10	3 440.000
	B » 16 » 24	10	466.000
	C_1 » 24 » 35	16	33.700
	C_2 » 35 » 50	15	9 500

Así pues, la población bacteriana se acumula en los niveles superiores: en las investigaciones de Iowa, tomadas en cuenta las 14, la cantidad pasa de los dos millones por gramo en un espesor superficial comprendido entre 12 y 19 pulgadas inglesas, o sea entre los 30 y los 48 centímetros, correspondiendo más o menos al suelo en sentido agrícola; y desde este punto baja bruscamente.

(1) P. E. Brown and T. H. Benton: *Microorganisms in some soil profiles in Iowa*. Proceedings... of the First International Congress of Soil Science, Wáshington, 1927, vol. III (1928).

(2). Los cuatro suelos eran cultivados.

El número de bacterias en un mismo suelo y nivel no suele ser fijo, sino que está sujeto a oscilaciones, una diurna y otra estacional. El máximum a través del año se alcanza, en los climas templados, en primavera y otoño. Las determinaciones de cantidad de microorganismos efectuadas en los suelos, no han aclarado hasta ahora más que una parte de las relaciones entre el fenómeno y sus factores. Parece demostrado que la cantidad total de microorganismos en conjunto, depende de la suma de material energético que es base de su existencia, es decir, de la suma de residuos vegetales. Si se aumenta este material energético (y no hay causas especiales que contrarresten sus efectos), el número de microorganismos aumenta. Si ese aumento energético se hace con una substancia pura, el aumento microbiano puede ser sólo de un determinado grupo de organismos; pero si el aumento se hace en material complejo, como el de los residuos vegetales, crecen en número organismos de grupos diversos. Se ha observado que, en suelos contiguos, los que contienen mayor cantidad de residuos vegetales contienen también, no sólo mayor número de microorganismos, sino mayor variedad de ellos. Por fin, en un mismo suelo, el número de bacterias y protózoos nunca permanece constante, sino que fluctúa sin cesar; y la fluctuación de las bacterias se verifica en sentido contrario a la de las amebas (1). Sin embargo, las fluctuaciones estacionales, a través del año, afectan en el mismo sentido a amebas y bacterias. No se han descubierto hasta ahora relaciones entre estas fluctuaciones y las de muchos factores del medio, como el grado de humedad del suelo, la temperatura o las lluvias (2).

El factor ecológico cuya relación con la vida edafomicrobiana aparece más claro, es la reacción. En este punto poseemos conocimientos seguros, aun cuando no hayan podido llegar a un grado absoluto de precisión. Estos conocimientos se refieren a la función en aquellas que pueden ser realizadas por microorganismos muy diferentes, y al microorganismo cuando sólo a uno o a un corto y definido número de éstos corresponde la función.

De un modo general, la vida bacteriana relacionada con la

(1) Protózoos rizópodos desnudos y libres, con prolongaciones (pseudópodos) anchas y obtusas.

(2) E. J. RUSSEL: loc. cit.

humificación, la amonización, la nitrificación y la fijación del nitrógeno aéreo, encuentra un factor hostil en la acidez. Su límite en el sentido básico suelen ser valores de pH que sólo se presentan en escaso número de suelos o no suelen presentarse nunca en los suelos (por lo menos en cuantos son utilizables como medio para la vegetación). Pero los límites en el sentido de la acidez se encuentran en grandes extensiones de suelos sin que éstos dejen aún de ser en alguna medida utilizables por el hombre, ni sean incompatibles con determinados tipos de vegetación natural. En cambio la vida de los hongos y su acción en sentido igual o equivalente como auxiliares de la vegetación superior, es mucho más resistente a la acidez. De ahí resulta que, según ésta aumenta y con ello disminuye la actividad bacteriana, se va haciendo preponderante la de los hongos o hifomicética (1).

La humificación es preponderantemente bacteriana en los suelos neutros (pH = 7) y básicos (pH > 7); pero cuando el valor de pH empieza a bajar de 7, se va haciendo principalmente hifomicética. Entonces el proceso es más lento, y en él se disipa cierta cantidad de nitrógeno. La amonización acaba por detenerse en la alta acidez.

Para las bacterias que elaboran nitritos y nitratos Garden y Hagem dan, como resultado de sus estudios, los valores de pH indicados en el cuadro X (2).

CUADRO X

BACTERIAS	VALORES DE PH		
	Mínimo en que pueden vivir	Optimo para su desarrollo	Máximo en que pueden vivir
Elaboradoras de nitritos .	7,0	7,8	8,6
Elaboradoras de nitratos .	6,5	7,1	7,8

(1) La vida de los hongos de que aquí se trata se manifiesta principalmente en su aspecto vegetativo: en éste el cuerpo del hongo lo forman los filamentos llamados *hifas*, y en su conjunto *micelio*. De *hifa* y el nombre griego del hongo, *mukε* (= *mykε*) se forman los términos de *hifomicete* e *hifomicético*. Las hifas resultan de una serie de células, y el límite de una a otra célula se acusa por un tabique.

(2) Tomados en G. WIEGNER: *Anleitung*, etc. (vide supra).

Según esto, la nitrificación bacteriana se verifica bien en los suelos neutros y alcalinos (los casos de pH > 7,8 ya sabemos que se limitan a suelos salinos especiales); pero en cuanto empieza a acusarse un poco la acidez, se detiene.

La relación entre los valores de pH y la actuación de las bacterias fijadoras de nitrógeno ha sido objeto de numerosos estudios.

En la Conferencia Internacional Edafológica de Roma (1924) Gainey sintetizaba en estas conclusiones los resultados de sus trabajos (1):

«1. En los cultivos puros de laboratorio, el *Azotobacter* no «se desarrolla si el valor de pH del medio es inferior a 5,9 ó 6,0. «Con 6,0 se desarrolla, y desde 6,2 se verifica una importante «fijación de nitrógeno.

«2. En una colección de suelos diferentes y bajo condicio- «nes climáticas diversas, el *Azotobacter* se encontró muy poco en «extractos o suspensiones de acidez mayor que pH = 5,9 a 6,0; «pero se encontró generalmente en suelos de pH mayor.

«3. Hay una relación casi absoluta entre la acidez del sue- «lo y la presencia o ausencia de los *Azotobacter;* esta relación se «ha comprobado en más de 400 casos, con una exactitud de 0,960.

«4. Si se mezclan suelos de pH < 5,9-6,0 sin *Azotobac- «ter,* con otros de pH mayor que ese límite y con *Azotobacter,* esa «población bacteriana desaparece pronto de las mezclas en que «el pH resulta < 5,9-6,0, y se conserva indefinidamente en las «mezclas en que ocurre lo contrario.

«5. Cuando a suelos de pH > 5,9-6,0 se les añade ácido su- «ficiente para que el valor de pH descienda de 5,9-6,0, el *Azoto- «bacter* desaparece en seguida. Si la cantidad de ácido no es sufi- «ciente para que pH baje de dicho límite, la adición no produce «efecto aparente en el *Azotobacter*.

«6. Si a un suelo de pH < 5,9-6,0 se le añaden substan- «cias alcalinas no tóxicas de modo que el valor de pH pase de 5,9 «-6,0, y se le inocula luego con *Azotobacter,* éste se conserva «allí indefinidamente. Si la substancia alcalina no se ha añadido «en proporción suficiente para producir dicho efecto en el valor «de pH, el *Azotobacter* inoculado desaparece en poco tiempo.

(1) P. L. Gainey: *The significance of soil reaction in controlling nitrogen fixation in soils.* Actes, vol. III (1926), págs. 31-72.

«7. El *Azotobacter* introducido en el suelo de un campo de «pH < 5,9-6,0 desapareció pronto. El introducido en terrenos «de esa misma acidez originaria, pero encalados luego en sufi- «ciente dosis para obtener una reacción permanente de pH > 5,9 «-6,0, se conservaba todavía al cabo de cuatro años, cuando el «autor hacía esta comunicación.»

El mismo investigador resumía de este modo en el Congreso de Wáshington (1927) el resultado de sus nuevas indagatorias sobre el mismo tema en 396 suelos (1).

CUADRO XI

VALOR DE pH	Número de suelos	AZOTOBACTER	
		Presencia por 100	Ausencia por 100
> 7,50	32	100	0
De 7,49 a 7,00	60	97	3
» 6,99 » 6,50	45	90	10
» 6,49 » 6,00	47	80	20
» 5,99 » 5,50	122	20	80
» 5,49 » 5,00	43	14	86
» 4,99 » 4,50	44	7	93
< 4,50	3	0	100

Y, a continuación de sus propios datos, citaba los de otros investigadores que concordaban con ellos, entre ellos los de Christensen y Jensen.

Una serie de investigaciones de Christensen, sobre 3.161 suelos, con determinación colorimétrica del valor de pH, dió el resultado expresado en el cuadro XII.

CUADRO XII

VALOR DE pH	Número de suelos	AZOTOBACTER	
		Presencia por 100	Ausencia por 100
≥ 7,0	248	100	0
6,8	398	99,7	0,3
6,6	499	94	6
6,4	765	60	40
6,2	673	29	71
6,0	479	8,2	91,8
≤ 5,8	180	0	100

(1) P. L. GAINEY: *The occurrence of Azotobacter in soil.* Kansas Agric. Exp. Station; Contribution n.° 97, Dept. of Bacteriology; in Proceedings... of the F. Intl. Congr. of Soil Science. Wáshington, 1927, vol. III (1928), págs. 107-117.

Y otra serie, de Christensen y Jensen, sobre 641 suelos, con determinación eléctrica del valor de pH, dió los resultados del cuadro XIII.

CUADRO XIII

VALOR DE pH	Número de suelos	AZOTOBACTER	
		Presencia por 100	Ausencia por 100
$\geqq$ 7,4	141	100	0
De 7,4 a 7,2	32	93,8	6,2
» 7,2 » 7,0	52	86,5	13,5
» 7,0 » 6,8	36	75	25
» 6,8 » 6,6	75	49	60
» 6,6 » 6,4	74	18,9	81,1
» 6,4 » 6,2	58	13,2	86,8
» 6,2 » 6,0	66	10,6	89,4
» 6,0 » 5,8	40	5	95
$\leqq$ 5,8	57	0	100

De todo ello concluye que el límite de tolerancia de acidez para el grupo de los Azotobacter fluctúa en torno del valor pH = 6,0.

Las bacterias del grupo *Bacterium radicicola*, o sea las fijadoras de nitrógeno simbióticas, son mucho más tolerantes para la acidez. Tomadas en conjunto se da como límite de su actividad los valores de pH 9,2 a 9,6 como máximo y 3,9 a 3,2 como mínimo, estando el óptimo entre 6,5 y 7,0. Para las bacterias del género *Soja*, ha encontrado O. C. Bryan que el valor crítico de pH se hallaba entre 4,0 y 4,7, y que pueden originar nudosidades entre 4,6 y 8. Esta tolerancia para la acidez constituye una semejanza más entre las bacterias simbióticas radicícolas y los hongos igualmente radicícolas de las micorrizas.

En los bosques ácidos y brezales de la Europa septentrional, del contorno del mar del Norte, alturas de los Alpes y regiones análogas de otros continentes, en que la acción bacteriana se hace imposible por los bajos valores de pH, son las micorrizas las que constituyen el sistema edafobiológico auxiliar de la vegetación superior. Las micorrizas pueden ser ectótrofas o endótrofas. En las ectótrofas el hongo es intercelular, es decir, que los filamentos que constituyen su cuerpo vegetativo se introdu-

cen entre las células de los tejidos exteriores de la raíz, disolviendo la substancia péctica que las une, pero sin penetrar en el interior de la célula misma. En las endótrofas el hongo es intracelular, es decir, que dichos filamentos acaban por penetrar dentro de las células de la planta hospitalaria. Suelen ser ectótrofas las micorrizas de las grandes especies arbóreas: pino, abeto, alerce, roble, castaño, carpe, haya, nogal; y endótrofas las de las plantas herbáceas, como las orquídeas, y leñosas o subleñosas bajas, como las ericáceas (brezos), tan características de los suelos ácidos y fríos. Pero también hay plantas herbáceas con micorrizas ectótrofas, como la *Dryas octopetala*. En las micorrizas ectótrofas el hongo origina como un manguito de hifas, densamente apelotonadas y adheridas, que envuelve las raíces, dándoles un aspecto coraloide; mientras que en las endótrofas hay que hacer un corte histológico, para ver, al microscopio, los filamentos del hongo en el interior de las células, lo mismo que ocurre con las bacterias radicícolas de las leguminosas.

Durante algún tiempo se han conocido las micorrizas, pero no los hongos que las formaban. De éstos no se conocían sino los filamentos vegetativos (micelio); pero los hongos sólo se pueden clasificar por sus aparatos reproductores, que es en lo que se diferencian. Por fin los trabajos de Peyronel, Melin y Noël Bernard, han descubierto el hongo de muchas micorrizas. En muchos casos este hongo era del grupo de los de fructificaciones en forma de sombrerillo, que es a los que el vulgo aplica la denominación de «hongos» o «setas», y que en Botánica se clasifican en el grupo de los *Hymenomycetes* de la clase *Basidiomycetes*. En los pinos, abetos y alerces, por ejemplo, el hongo descubierto por Melin, en Suecia, resultó ser, dentro de esos grupos, un *Boletus*. Estos cuerpos fructíferos, cuya presencia en los bosques húmedos es característica, y que forman en ellos esos círculos llamados «mágicos» o «de brujas», no viven pues, en muchos casos, independientes de la vegetación arbórea dominante, sino que entre ellos y las micorrizas de los árboles hay una continuidad de micelio. En otros casos el hongo simbiótico es muy diferente: así en la caluna *(Calluna vulgaris)* y otras ericáceas se ha descubierto ser del género *Phoma*, que se clasifica entre las *Sphaeropsidales*, de la clase *Deuteromycetae* de Saccardo.

Los beneficios de las plantas micotróficas (que así se lla-

man las provistas de micorriza) (1) se pueden agrupar en tres puntos:

1. Los hongos, viviendo en el medio saprófito de las substancias orgánicas en descomposición (y sabido que ésta es lenta en los medios ácidos, fríos y húmedos), toman de él directamente las substancias alimenticias, incluso nitrogenadas, que luego pueden pasar en parte, transformadas por el organismo parásito, a la planta superior simbiotizada con ellos.

2. Parece que también los hongos de las micorrizas, o por lo menos algunos, son capaces de fijar, como las bacterias que hemos visto, el nitrógeno de la atmósfera. De esto se sabe aún muy poco, y es problema no resuelto. Pero en 1907 Carlota Ternetz cultivó el *Phoma* extraído de las ericáceas en un medio artificial desprovisto de nitrógeno, y comprobó que seguía desarrollándose, utilizando por lo tanto el atmosférico. Y posteriormente la señora Rayner cultivó en medios desprovistos de nitrógeno plantitas de *Calluna vulgaris* (ericácea), unas desprovistas del *Phoma* y otras parasitadas por este hongo, y sólo éstas prosperaron; de donde dedujo que los hongos de este género proporcionan a las ericáceas el nitrógeno procedente de la atmósfera.

3. Ya hemos visto, en el capítulo anterior, que en los suelos húmedos y fríos turbosos o podsolados, de vegetación eminentemente micotrófica, al mismo tiempo que los valores mínimos de pH, se registran bajas cifras de concentración de jugos o presión osmótica. Ahora bien, los hongos simbióticos contrarrestan este carácter del medio, ya sea que como extracelulares constituyan por sí mismos un medio diferente a las células que rodean, ya que, cuando son intracelulares, originen mayor con-

(1) Del griego *mukes* (= *mykes*), hongo; *trofós*, que alimenta; *ektós*, fuera; y *endon*, dentro; proceden los términos de *micotrófico*, *ectótrofo* y *endótrofo*. La forma que en castellano y otros idiomas neolatinos se ha generalizado para los derivados de la voz que en griego significa hongo, es incorrecta. Como la voz griega se declina *mykes*, *myketos* (μύκης, μύκητος) y los derivados se forman del genitivo (la raíz es *miket*—), debiera decirse *micetólogo*, *micetología*, *micetorriza* y *micetotrófico*, y no micólogo, micología, micorriza y micotrófico. Sólo por el carácter de simple vulgarización de este libro, transigimos en gracia de la claridad con el vicioso uso corriente. El verdadero valor etimológico de *micólogo* sería «que habla mugiendo», del griego *micômai*, mugir. En cuanto a la transcripción *mukes* = *mykes*, los romanos no transcribieron la *u* griega (υ) ni por *u* ni por *i*, sino por la letra especial *y* que llamaron *i griega*; lo que prueba que, por aquel tiempo, la υ (úpsilón) de los griegos había perdido su sonido originario de *u*, sin tener el de *i* que se le da en el griego moderno: de modo que se pronunciaba de un modo intermedio, como la *u* francesa o *ü* alemana.

centración de la savia. El hecho es que diversos experimentos han demostrado para muchas plantas superiores que simbiosis con el hongo equivalía en sus efectos a concentración del medio. Así la inmensa mayoría de las orquídeas no germinan sin simbiosis con un hongo, y la primera etapa en su desarrollo es la formación de un tubérculo, coronado por las hojas primordiales. Pero Bernard ensayó la germinación de *Cattleya* sin hongo simbiótico: sembrada en un medio diluído no germinó; sembrada en un medio más concentrado, obtuvo la germinación con su primera etapa de tubérculo, como la que se originaba por simbiosis. El mismo Bernard y Laurent hicieron experimentos con la planta de la patata (que como sabemos prospera en suelos ácidos), sumergiendo tallos de ella en soluciones de diferente concentración o presión osmótica: según que la concentración era más baja o más alta, las yemas axilares se desarrollaban en ramos foliados o en tubérculos. Parece pues (no sólo por estos experimentos, sino también por otros hechos con otras plantas) que la tuberización es una reacción de la planta contra la concentración del medio, y la tuberización la origina igualmente la simbiosis con los hongos.

La planta de la patata es originariamente, como otras del mismo género *Solanum* (v. g. *S. dulcamara* o hierba mora, *S. maglia* o patata silvestre, etc.), una especie micotrófica. Las razas cultivadas suelen carecer de micorriza, por efecto ya de la selección, ya al mismo tiempo de los abonos que pueden substituir al hongo en sus efectos. Pero sembrada la planta al pie de *Solanum* silvestres micotróficos, también la planta cultivada puede infectarse con el hongo. Cultivando pies así simbiotizados, se ha observado que el *Solanum* acostumbrado por selección a vivir libre, tiende a librarse del parásito, que como resultado de esta lucha acaba a veces por desaparecer, mientras que otras veces sale triunfante y persiste. Ahora bien, en el primer caso la planta no ha dado tubérculos, y en el segundo sí.

Es posible que, con estos efectos equivalentes a aumento de presión osmótica en el medio, guarden relación diversos fenómenos que, aparte de los expuestos, se han reconocido como efectos de la micorriza, v. g., la más eficaz absorción de sales minerales, en el suelo ácido, por la planta parasitada.

En resumen: en la utilización fisiológica del suelo, las plantas superiores son auxiliadas por infinidad de seres vivos más

sencillos, entre los cuales se destacan con un interés especial las bacterias y los hongos simbióticos. Aquéllas dominan en los suelos básicos (no exageradamente), neutros y ligeramente ácidos. Cuando la acidez se va haciendo pronunciada, las bacterias abandonan la acción intermediaria a las micorrizas. El cultivo puede suplir en cierto grado a unas u otras mediante el saneamiento, las labores o los abonos; y, mediante el estercolado llevado a cabo con inteligencia, puede favorecer el desarrollo de la población bacteriana.

CAPITULO VI

EL ANÁLISIS FÍSICO Y MECÁNICO

A los factores químicos y biológicos se unen en el suelo los físicos, que a su vez condicionan aquéllos, y con ellos la vegetación superior.

El más importante y fundamental es el estado de dispersión de los elementos que constituyen el suelo. Esta dispersión es más o menos compleja: en unos elementos, como el residuo insoluble (del análisis químico en extracto clorhídrico) es de orden puramente físico o mecánico, llegando hasta la partícula; pero en otros, como las sales solubles, llega hasta la disolución molecular, y en la ionización más allá, pues en los cationes se llega al átomo. Entre uno y otro extremo está el estado de dispersión intermedio de los coloides, que pueden difundirse en estado de soles, o conglutinarse en el de geles. Así el residuo insoluble, los coloides y las substancias solubles, representan tres grados distintos y escalonados de dispersión; por lo cual la distinción de estos tres grupos aparece a la vez química y física. Sin embargo, la correspondencia entre la distinción química y la física no es perfecta. El carácter de solubilidad es relativo. Varía según el disolvente. La sal común es muy soluble en el agua, el yeso lo es muy poco, y se disuelve en el ácido clorhídrico en caliente, y la caliza se descompone por el ácido clorhídrico y se dice que es insoluble en el agua, pero en realidad es también soluble, como ya hemos visto, en proporción infinitesimal. Por otro lado, de estos elementos minerales más o menos solubles, unos están en el suelo inertes, en estado lapídeo, y otros movilizados, adsorbidos por los coloides o disueltos en los jugos que circulan entre las partículas sólidas.

Resulta de todo esto que, si dispersamos una muestra de tierra en una gran proporción de agua para separar los elementos que la constituyen hasta el límite de su respectiva divisibilidad, no obtendremos un resultado uniforme y exactamente adecuado al concepto que tenemos de la composición del total. Las substancias muy solubles en el agua desaparecerán del todo como integrante sólido, disueltas en el líquido; parte de los elementos solubles permanecerán unidos a los coloides dispersos en estado de sol, que incluso podrán atravesar un filtro; y de las substancias poco solubles desaparecerá una parte disuelta en el agua, y quedará el resto en estado lapídeo, dispersado según su fraccionamiento mecánico. Si pues, por este procedimiento, seguimos lavando el suelo y filtrando, para separar por ejemplo la fracción soluble, por una parte, con el elemento soluble disuelto se podrá también filtrar una fracción por lo menos de los soles, y por otra el lavado se habrá de prolongar indefinidamente cuando haya substancias semisolubles como el yeso, y sobre todo la caliza, en gran cantidad. Prácticamente esta última se puede decir que no acabaríamos nunca de eliminarla, pero en cada lavado arrastraríamos una fracción infinitesimal de ella. Para lavar todo el yeso necesitaríamos emplear enormes cantidades de agua, y no haciéndolo así una parte apreciable de él habría desaparecido disuelto, y el resto quedaría como residuo del lavado; de modo que una misma substancia y en masa uniforme aparecería en el resultado del análisis distribuída en dos dispersiones diferentes. No habría pues manera de separar en la práctica esas tres porciones — residuo, coloides, solubles — que tan bien distinguimos en teoría.

Los análisis puramente mecánicos han de tener pues un valor más o menos relativo cuando en los suelos hay substancias solubles libres. Pero podemos obtener un valor más absoluto si empezamos por combinar con la división mecánica un tratamiento químico que elimine las substancias solubles y semisolubles. Este valor no sólo será más absoluto, sino más adecuado como expresión de la composición física del suelo. En efecto, aunque se hallen por el momento en el mismo grado de división o dispersión, los elementos solubles o semisolubles y los insolubles tienen un significado diferente. Si suponemos, v. g., una arena de granos todos de igual dimensión, pero la mayoría de cuarzo y unos pocos de yeso o de caliza, al cabo de mayor o me-

nor tiempo la acción del agua, si el clima es lluvioso, hará desaparecer los granos de yeso y menguar en dimensiones los de caliza, y estos mismos irán menguando en lo sucesivo hasta incluso desaparecer del todo. También se da el caso de que los granos de cuarzo estén aglutinados mediante un cemento calizo en otros mayores. Esta textura en un suelo natural expuesto a la acción de las lluvias no tendrá carácter permanente. Poco a poco el agua (que no será pura, sino más o menos cargada de carbónico), al atacar la caliza, no sólo irá disminuyendo así lentamente el volumen de cada grano, sino que, al dejar libres los de cuarzo aglutinados, originará cambios mucho más bruscos en el estado de división total del suelo. La cuenta aparte de los elementos solubles o semisolubles permite pues apreciar en la dispersión un carácter más permanente. Claro está que su estabilidad tampoco es absoluta; pues los jugos del suelo atacan también a los elementos llamados insolubles, y éstos se hallan igualmente expuestos a la erosión, arrastre a la profundidad y demás episodios de la dinámica general del suelo. Pero las mudanzas que esta dinamicidad acarrea son en los elementos solubles mucho más rápidas. También es interesante separar los coloides orgánicos de los minerales.

De aquí que el análisis puramente mecánico se combine con la separación física de los diversos elementos en que tendría significación diversa. El resultado de esta primera separación será distinguir en el suelo los siguientes integrantes:

Materia orgánica o humus.
Sales solubles.
Yeso.
Carbonato de calcio (caliza) o de magnesio.
Porción mecánica.

La porción mecánica es, según esto, lo que queda después de separar del suelo los demás componentes aquí citados. Esta porción mecánica se compone del complejo coloide mineral más el resto de la parte mineral con el agua de composición. Aquí se engloban pues los coloides minerales y el residuo insoluble y una parte solamente de la pérdida por ignición: la del agua química. A esta porción mecánica se aplica la segunda parte del análisis, que es su distinción en fracciones de dispersión diversa, sin preocupaciones sobre su respectiva composición química.

Estas consideraciones nos permiten precisar el valor de las expresiones análisis físico, análisis mecánico y análisis físico-químico, que de ordinario se usan con vaguedad y a veces como sinónimas. Llamaremos *análisis mecánico* al que tiene por objeto separar el suelo en fracciones de diferente dispersidad (fracciones mecánicas). Este análisis puede aplicarse, ya a la totalidad del suelo o ya a la parte que hemos llamado «porción mecánica», y que resulta de su división física. Llamaremos *análisis físico* al que divide el suelo en los elementos que se hallaban en él mezclados (no en composición química) o a lo más libremente disueltos en sus jugos: humus, sales, yeso, caliza y fracción mecánica. El análisis completo en que, después de separar estos elementos (análisis físico), se divide el último en fracciones de distinta dispersidad (análisis mecánico), debe llamarse, para hablar con precisión, *análisis físico mecánico.*

Análisis físico-químico es el análisis físico combinado con el tratamiento químico, ya como preparatorio, ya además como complementario, v. g., para precisar la parte que en los carbonatos corresponde al calcio y al magnesio, o la composición del total de sales solubles. En la práctica, cuando se habla de análisis físico-químico, se sobreentiende que se engloba con él el mecánico.

Los procedimientos químicos para determinar las sales solubles, yeso, carbonatos y humus, se han indicado ya en el capítulo III; pero en el análisis de que ahora se trata hay que tener en cuenta que la determinación no es lo mismo que la separación, y que ésta presenta mayores dificultades que aquélla. Las sales solubles se determinan en la solución acuosa; y los carbonatos se eliminan tratando por un ácido suave, v. g., el clorhídrico muy diluído que los convierte en cloruros, los cuales se disuelven en el agua y son así arrastrados por el lavado. Pero el ácido puede atacar a la vez, además de los carbonatos, una parte, aunque sea pequeña, del complejo coloide alofánico (o zeolítico), y la pérdida que por este concepto experimenta la tierra no debe adscribirse a los carbonatos, sino a la parte de la porción mecánica de máxima dispersión que abarca los coloides. Lo mismo ocurre con la parte de coloides que en estado de sol sea arrastrada con el lavado de las sales solubles (y con ellas de los cloruros resultantes del ataque de los carbonatos). Los coloides orgánicos o humus pueden también en parte ser arras-

trados con los lavados, sobre todo si hay humus ácido. Por todo esto, el análisis físico resulta un problema más difícil de lo que a primera vista pudiera parecer. Su solución rigurosamente absoluta no se ha encontrado hasta ahora. Y sólo a través de un siglo de esfuerzos y de estudios comparativos en que han colaborado investigadores de todos los países de vida científica intensa, se ha llegado a un máximo de exactitud relativa, expresado en el acuerdo del Congreso Internacional de Wáshington de 1927. En él han quedado establecidos, con carácter internacional definitivo, dos métodos de análisis; uno puramente mecánico directamente aplicable a la tierra total; y otro físico-químico, abarcando a su vez el mecánico que se aplica solamente a la «porción mecánica».

Pero, antes de describirlos, debemos acabar de precisar el ideal que con esos métodos se persigue. Ya lo hemos indicado por lo que hace a la división física. Nos falta hablar de la mecánica propiamente dicha.

Una masa de tierra, ya total, ya reducida a su «porción mecánica», se compone, como hemos dicho, de elementos que van desde la partícula visible a simple vista hasta el catión en la tierra total, y hasta la partícula de substancia coloide en la llamada «porción mecánica». Para mayor sencillez en la exposición, prescindiremos en ella de la porción soluble. El grado de dispersión se mide por la masa de cada una de las partículas que integran el sistema. El medio práctico es expresarla por una medida lineal. Si las partículas fueran todas esféricas, su volumen quedaría determinado por esa medida lineal, que sería su radio, o su diámetro (igual al doble del radio), pues ésta es la única variable que entra como función en la fórmula del volumen de la esfera. Este es el tipo de medida que se ha adoptado, expresándose en diámetro. Como las partículas pueden tener formas diversas, al hablar de un diámetro determinado queremos decir que es el que ofrecería igual masa de materia que tuviese la forma esférica. Se sobreentiende pues que se habla, no de diámetros efectivos, sino del *diámetro equivalente*. Estos diámetros se miden por milímetros y fracciones de milímetro. Como la mayoría de los que nos interesa tomar en cuenta son inferiores al milímetro, resulta cómodo expresar la cifra en micrones (μ), que son milésimas de milímetro.

Variando estos diámetros gradualmente entre límites tan

distanciados, es imposible contar por fracciones uniformes, es decir, conteniendo cada una partículas de un solo tamaño. Lo que se hace es establecer límites fijos para dividir el total en un corto número de fracciones. Mientras los edafólogos trabajaron aisladamente, cada uno en su país, cada investigador original adoptó la escala de límites que le pareció conveniente, y los demás adoptaban, también según su criterio personal, una u otra de las escalas creadas. Tales han sido las escalas francesa, de Schöne, de Hilgard, del Bureau of Soils de los Estados Unidos, y de Kopecky, hasta que en 1913 la Comisión de estudio mecánico y físico adoptó como internacional una nueva escala propuesta por Atterberg, fundada en la gradación decimal y en tomar el radio como unidad (lo que facilita los cálculos), por lo cual el diámetro se expresa siempre por la cifra significativa 2.

Naturalmente, los resultados del análisis mecánico de una misma muestra variarán de expresión según sea la escala adoptada; y por esto las cifras de composición mecánica expresadas en escalas diferentes no son comparables. Los nombres de grava, arena gruesa, arena fina, limo, arcilla, etc., aplicados a cada una de las fracciones separadas, tampoco son equivalentes en escalas distintas. Es decir que se ha venido aplicando nombres iguales a cosas diferentes. Sin embargo, no sólo antes de la adopción de la escala de Atterberg en 1913, sino también después, se han estado haciendo en muchos países muchos miles de análisis que suman un gran valor documental, del que no se debe prescindir. Por esto es interesante conocer las más usadas de las diferentes escalas, que son las que se detallan a continuación (1).

(1) Como ninguna de estas escalas había sido creada, ni usada, en España, habíamos llegado a los actuales tiempos de la ciencia sin un vocabulario castellano suficientemente preciso para la designación de las diferentes fracciones. Para llenar este hueco, la sección española de la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo adoptó en 1925, a propuesta del autor de este libro, el siguiente léxico en correspondencia con otros idiomas:

CASTELLANO	FRANCÈS	INGLÉS	ALEMÁN
Cantos.	Cailloux et galets. .	Stone..	Stein und Geröll . .
Grava..	Gravier..	Grit, Gravel. . . .	Kies, Grand. . . .
Arena..	Sable..	Sand.	Sand.. . . . .
Arenilla.	Petit-sable.	Siltsand..	Staubsand. . . . .
Limo.	Limon.	Silt.	Staub, Schluff. . .
Arcilla.	Argile	Clay.	Ton. . . . .

Escala de Schöne

Diámetro equivalente en micrones	Denominación de las fracciones	
> 2.000 (1)	Grava.	Arena gruesa.
De 2.000 a 1.000	Arena muy gruesa.	
» 1.000 » 500	Arena gruesa.	
» 500 » 200	Arena media.	
» 200 » 100	Arena fina.	
» 100 » 50	Arena finísima o arenilla.	
» 50 » 10	Limo.	
< 10	Arcilla.	

Escala del «Bureau of Soils» americano

Diámetro equivalente en micrones	Denominación de las fracciones
> 2 000	Grava gruesa.
De 2.000 a 1.000	Grava fina.
» 1 000 » 500	Arena gruesa.
» 500 » 250	Arena.
» 250 » 100	Arena fina.
» 100 » 50	Arenilla.
» 50 » 5	Limo
< 5	Arcilla.

Escala de Kopecky

Diámetro equivalente en micrones	Denominación de las fracciones	
De 2.000 a 100	Arena o fracción	IV
» 100 » 50	Arenilla »	III
» 50 » 10	Limo »	II
< 10	Arcilla »	I

Esta escala es muy importante, porque ha servido de base a una clasificación de los suelos por su composición mecánica, hecha por el mismo autor, muy práctica y utilizada en la cartografía edafológica de Checoeslovaquia. Esta clasificación se funda sobre todo en las proporciones centesimales de las fracciones I y II, utilizándose las demás como elemento diferencial sólo en algunos casos. El criterio informante de esta clasificación es la insuficiencia práctica de la distinción de los suelos en *arenosos* y *arcillosos* simplemente, y la necesidad de introducir una categoría intermedia, la de los *limosos*. A los términos de estas clasificaciones mecánicas se les ha llamado *clases*, para distinguirlas de los *tipos*, de que hablamos en el capítulo VIII y que obedecen a otro concepto. Pero podemos añadir que la clasifica-

(1) 2.000 micrones = 2 milímetros.

ción de que aquí se trata se refiere, si se ha de hablar con precisión, a las *tierras* y no a los suelos en el sentido de perfiles; pues en éstos cada horizonte puede y suele tener una composición mecánica distinta. Kopecky empleó en este caso las denominaciones de «clases», que en la transcripción respetamos. Estas clases aparecen, en el cuadro XIV, ser 18, distribuídas en tres grupos principales (1).

CUADRO XIV

CLASIFICACIÓN DE KOPECKY

CLASES	Tanto por ciento de las fracciones I	Tanto por ciento de las fracciones II	CONDICIONES COMPLEMENTARIAS
A. Grupo arcilloso			
1. Arcilla compacta o plástica.	> 75	—	
2. Arcilla terrosa	60-75	< 20	
3. Tierra arcillosa	60-75	> 20	
4. Tierra arcillosa con arena	50-60	< 20	
5. Tierra arcilloso-limosa	50 60	> 20	
6. Tierra arenoso-arcillosa	40 50	< 10	
7. Tierra arcilloso-limosa arenosa	40-50	10-20	
B. Grupo limoso			
8. Limo arcilloso	45-50	> 20	$I + II > 45$
9. Limo	10 45	> 20	$III + IV \leqq 30$ $IV < 20$
10. Limo arenoso	10-45	> 20	$I + II > 45$ $IV > 20$
11. Limo arenilloso	10-45	> 20	$I + II > 45$ $III + IV > 30$ $IV \leqq 20$
C. Grupo arenoso			
12. Tierra arenosa arcillosa	25-40	< 10	
13. Tierra arenosa arcilloso-limosa	25-40	10-20	
14. Arena arcillosa	10-25	< 5	
15. Arena arcilloso-limosa	10-25	5-10	
16. Arena limosa	10-25	10-35	$I + II < 45$
17. Arena sublimosa	< 10	> 10 (2)	
18. Arena subarcillosa	< 10	< 10	

(1) JOSEF KOPECKY: *Die Klassifikation der Bodenarten auf Grund des Gehaltes an bodenbildenden Bestandteilen*. Praga, 1913.

(2) Si, además, $I + II \geqq 45$, *loes*.

Esta clasificación ha sido aplicada, conjuntamente con la siguiente, por el autor de este libro, al estudio de muchos suelos españoles.

Escala de Atterberg

Diámetro equivalente en micrones	Denominación de las fracciones
> 20.000	Cantos.
De 20.000 a 2.000 (1)	Grava.
» 2.000 » 200	Arena gruesa.
» 200 » 20	Arena fina.
» 20 » 2	Limo.
< 2	Fracción arcillosa.

La escala de Atterberg es de un gran valor, pues, aparte de su sencillez numérica, las divisiones que establece coinciden bastante con los límites de importantes fenómenos físicos en el suelo, como veremos en el próximo capítulo.

Prolongando un grado más la escala de Atterberg se llega, después de la fracción menor de 2 micrones, a la que tiene por límite superior las 2 décimas de micrón (0,2 μ), que suele ser aproximadamente, en muchos casos, como vimos en el capítulo II, el de la dispersión coloide. Pero en la práctica no se llega a ella. La última fracción, es decir, la de elementos más finos, en las diversas escalas citadas, aunque en el lenguaje vulgar se suele denominar *arcilla*, no lo es sino en parte. El nombre de *arcilla stricto sensu* corresponde a la fracción mineral puramente coloide. La última fracción mecánica es la *que contiene el total de la arcilla*, sin ser arcilla toda ella. Si queremos expresarnos con propiedad, la llamaremos por consiguiente *fracción arcillosa*, expresión que empleamos en la última escala.

Veamos ahora el modo de separar o calcular las diferentes fracciones mecánicas.

El procedimiento más elemental, y consiguientemente el menos preciso, para dividir el suelo en elementos mecánicos, es el que se hace a mano, sin aparatos especiales, más que cápsulas y vasos de gran capacidad, v. g., de $^1/_2$ litro, 1 litro y 5 litros. De este modo se divide la muestra total, previamente tamizada, v. g., al milímetro, en tres porciones que han venido denominán-

(1) 20 000 micrones = 20 milímetros.
2.000 » = 2 »

dose «arena gruesa», «arena fina» y «arcilla». La esencia del procedimiento es ésta. Se toman 10 gramos, por ejemplo, de tierra tamizada, en una cápsula de porcelana, y se añade una pequeña cantidad de agua destilada o de lluvia, de preferencia templada. Se deslíe la tierra en el agua todo lo posible, oprimiéndola con una varilla provista de goma, o mejor con el dedo. Después que se ha enturbiado bien, se deja reposar un breve rato, que no se precisa, v. g., unos ocho o diez segundos, y se decanta, procurando no apurar este decantado, para que todo el poso quede en la cápsula. Se vuelve a echar agua en ésta y a oprimir nuevamente, enturbiando el líquido; se deja reposar como antes y se vuelve a decantar. Y esta operación se repite hasta que el agua de decantación salga limpia. (No es necesario advertir que si la tierra contenía sales solubles, el agua de estos lavados se las llevará, lo que no sería inconveniente sino un dato más que tomar en cuenta; pero si la tierra contiene yeso, el lavado se llevará en solución una parte, dejando el resto en el poso, lo que constituirá un importante margen de error). Lo que queda en la cápsula se seca a 105 grados, y su peso se adscribe a la denominación de «arena gruesa». De ella se pueden separar luego por un ácido los carbonatos y determinarlospor los procedimientos indicados al tratar del análisis químico.

El líquido turbio decantado, si se ha recogido en un vaso, puede ofrecer un volumen muy grande que dificulte la operación. Para evitarlo se aconseja recoger dicho líquido sobre un filtro, de modo que el agua se elimine y quede sobre éste la suspensión fina. Pero entonces puede ocurrir que parte de los soles de la arcilla atraviesen el filtro, lo que origina un margen de error. También cabría el medio de reducir el volumen por evaporación, pero eso puede resultar muy largo. Como quiera que sea, una vez que tenemos recogida en un vaso de un litro, o mejor de medio litro toda la materia en suspensión que hemos decantado, se la trata por un ácido diluído para librarla de los carbonatos. Se filtra y se recoge el líquido en que las bases de éstos habrán pasado disueltas como nitratos ocloruros, según el ácido empleado; y se sigue lavando, hasta que el líquido que gotea del filtro deje de tener reacción ácida. En este filtrado ya no hay tanto peligro de que se vayan soles, pues el ácido reconcentra los coloides.

Descalcificada la fracción y reunida de nuevo en un vaso de

un litro o medio, se le echa amoníaco, agitando bien para que éste se difunda todo lo posible por la suspensión, y se añade agua (en caso de que se haya seguido la práctica de filtrar) en abundancia, hasta cerca del borde del vaso, y se deja así en reposo veinticuatro horas. El amoníaco favorece la dispersión de los coloides y arrastra además en solución los elementos del humus que el ácido disoció. El largo reposo hace que se sedimenten los elementos menos finos. A las veinticuatro horas se separa el líquido del poso, por medio de un sifón, medio que evita, más o menos, el arrastrar partículas del poso, por lo cual hay que suspender el sifonado antes de que a ese poso se llegue. El líquido sifonado se recoge en un vaso de gran capacidad, v. g., 5 litros, y en el vaso donde quedó el poso se vuelve a echar agua, a dejar en reposo otras veinticuatro horas y a sifonar al día siguiente, añadiendo el líquido ahora recogido al anterior. Esta operación se repite durante todos los días que sea preciso hasta que el agua del sifonado salga limpia. El poso que ha quedado en el vaso menor se califica de «arena fina», que se pesa después de secarlo en la estufa, como la fracción anterior. La fracción más fina, que se ha reunido, sifonando, en el vaso grande, se califica impropiamente de «coloide», pero es la que contiene los coloides, además de una parte no coloide. Su porción coloide se compondrá exclusivamente de arcilla si la tierra no contenía humus, o si éste había sido previamente eliminado. En caso contrario, la parte coloide de la fracción fina contendrá también humus, aunque no puede pretenderse que contenga todo el humus, pues parte de éste y de la arcilla coloide pueden haber quedado adheridos a las partículas de las llamadas arena gruesa y arena fina. La fracción que contiene los coloides podría deducirse por diferencia, una vez conocidos los pesosde las otras dos: en este caso, la diferencia englobaría los coloides, las partes más finas no coloides y la porción soluble. Pero también se aprecia directamente la tercera fracción, y ello es indispensable si se ha de separar en ella el humus. Para esto se añade en el vaso de 5 litros ácido clorhídrico o nítrico hasta que, no sólo se haya neutralizado todo el amoníaco añadido antes, sino que se haya producido un exceso de acidez, lo que se comprobará con un trocito de papel de tornasol azul o violeta, que se pondrá rojo al contacto del líquido. El ácido favorece la concentración de los coloides, que con el resto de la suspensión van cayendo al fondo. Cuando,

por haberse puesto claro el líquido, se ve que la sedimentación ha llegado a su grado máximo (que puede muy bien no ser absoluto), se sifona, y este líquido ya no es necesario recogerlo. El poso se transvasa entonces a un recipiente más pequeño, y allí se vuelve a lavar y sifonar. El poso se recoge en último término sobre un filtro o se evapora a sequedad, y entonces se pesa. Hecho esto se calcina. En esta operación ya sabemos que, aparte de otras alteraciones despreciables, se pierden la materia orgánica y el agua de composición de la arcilla. Admitiendo para ésta una proporción centesimal constante, como el 10 por ciento de la fracción arcillosa así obtenida, lo que resulta mucho más del 10 por ciento de la verdadera arcilla, tendremos, después de pesar el residuo que ha quedado en el crisol, las cifras que se asignan al humus (pérdida por ignición menos agua de la arcilla) y a la mal llamada «arcilla», y con más propiedad fracción arcillosa (residuo de calcinación más su 10 por ciento por concepto de agua).

Este método tiene un sin fin de inconvenientes, algunos de los cuales hemos hecho notar de paso: todo para llegar a un resultado impreciso; pues en las tres fracciones separadas, ignoramos cuáles son los diámetros equivalentes de las partículas que les sirven de límites. Sin expresiones numéricas que las precisen, no podemos definir qué relación guardan las llamadas «arena gruesa», «arena fina» y «arenilla» con las denominaciones análogas de las diferentes escalas. Además la separación, sea cual fuere, es imperfecta y variable, dependiendo en gran parte del factor personal. El que esto escribe ha examinado al microscopio fracciones separadas según este sistema por operadores muy prácticos en él, y ha encontrado en cada una de ellas, desde elementos menores de 10 micrones hasta los que se califican ya de arena en algunas escalas. Ha sometido al análisis mecánico las mismas muestras, y no ha podido encontrar ninguna relación constante entre las fracciones de límites fijos así determinadas y las tres obtenidas por el método elemental.

A pesar de todos estos inconvenientes, este método elemental se sigue practicando en algunos países. Existiendo ya un procedimiento acordado internacionalmente con el máximo de autoridad científica, no vacilamos en considerar la substitución absoluta de aquél, que es el más primitivo, por éste, que es el más perfecto, como una necesidad indiscutible y de la mayor evidencia.

Para separar fracciones mecánicas según escala de expresión matemática, hay que valerse de procedimientos mecánicos. Estos se aplican a la suspensión, bien dispersada, de la tierra en agua destilada.

Ante todo hay que establecer un límite superior general; este límite es hoy el de 2 milímetros de diámetro. La grava, de 2 a 20 milímetros, se separa con un tamizado y midiendo además los fragmentos más gruesos, pues el diámetro de 20 milímetros, que se establece como máximo, se entiende que es el medio. Para determinarlo en esos fragmentos, que suelen ser muy pocos en número, se miden, v. g., tres diámetros, se multiplican entre sí y se extrae la raíz cúbica del producto: solamente cuando esta raíz no exceda de 20 milímetros, se incluirá el fragmento en la fracción. La fracción o fracciones comprendidas entre 2 milímetros (2.000 micrones) y 0,2 (200 micrones) pueden apreciarse por tamizado, siempre que el tamiz sea de agujeros redondos y se tamice lavando al mismo tiempo con energía; pues de lo contrario quedará mucha parte fina adherida a la gruesa. En este tamizado con lavado se suele gastar mucha agua para arrastrar toda la parte fina; por lo tanto, lo práctico es conservar sólo la gruesa para secar y pesar, y la fina se deduce por diferencia. La comprendida entre 2 y 1 milímetro aun puede separarse, llevando a la suspensión sólo la tierra tamizada al milímetro; pero la fracción comprendida entre 1 milímetro y 0,5 es más práctico no separarla, sino simplemente deducirla después de haberla averiguado, como queda dicho, por tamizado.

Sea la tierra tamizada a 2 milímetros, sea la tamizada a 1 milímetro la que utilicemos, los procedimientos mecánicos que apliquemos a la suspensión pueden ser dos: la levigación o la sedimentación. Se ha observado que los aparatos de levigación resultan más exactos para las fracciones más gruesas; pero los de sedimentación lo son para las fracciones más finas, que son las más interesantes. Por esto se ha acabado por preferirlos.

La levigación consiste en someter la muestra a una corriente de agua que, según su carga, arrastrará una parte de aquélla (la más fina) y dejará la más gruesa. Sometiendo la muestra sucesivamente a corrientes de carga diferente, en gradación, la dividiremos en distintas fracciones mecánicas. La diferencia de carga se puede conseguir de varios modos; v. g., variando el diámetro del conducto de entrada del agua (a menos caudal por

segundo, menos carga), o variando la capacidad de los recipientes que la corriente atraviesa (a mayor diámetro, menor velocidad y fuerza de arrastre del agua).

El primer medio es el que utilizó Hilgard en su aparato levigador, graduando la salida de agua por el giro de la llave que un puntero señalaba en un limbo (1).

El segundo medio es el que utilizó Kopecky en el suyo, que consta de tres cilindros de vidrio enlazados por tubos acodados

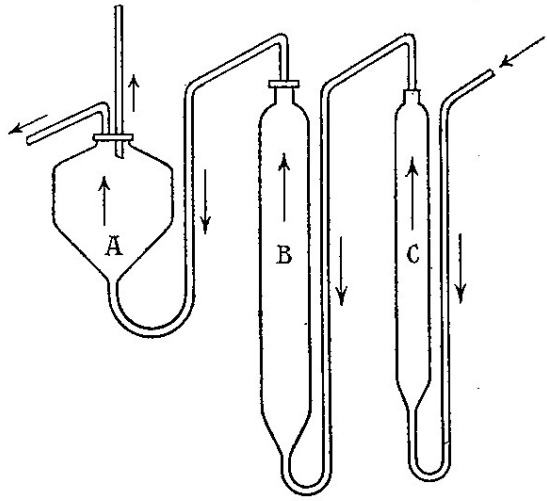


FIG. 4.— Aparato de levigación de Kopecky.

según se expresa en el dibujo adjunto. Sus diámetros respectivos son de 30, 56 y 78 milímetros. El primero comunica directamente con el tubo de salida de agua. Del último sale el tubo de desagüe, cuya descarga se recibe en un vaso cilíndrico. En el mismo último cuerpo va un tubo piezométrico. Se utiliza un caudal de 1.000 centímetros cúbicos de agua en 202 segundos. Por la diferencia de diámetros, la velocidad del agua por segundo es de 7 milímetros en el primer tubo (C), 2 en el segundo (B) y 0,2 en el tercero (A). Se opera con 50 gramos de tierra seca tamizada a 2 milímetros. La fracción superior a 100 micro-

(1) Este aparato está descrito en el Boletín n.° 24 del «Bureau of Soils» de los Estados Unidos.

nes queda en C; la de 100 a 50 micrones en B; la de 50 a 10 micrones en A; y la inferior a 10 micrones cae en el vaso exterior. Se secan y pesan las tres primeras fracciones y la cuarta puede deducirse por diferencia. De este aparato se sirvió Kopecky para aplicar su escala y clasificación.

Al tipo de aparatos de sedimentación pertenecen el de Atterberg y el de Wiegner.

El de Atterberg es el más sencillo de todos. Consta de un cilindro de vidrio, con pie, de unos 5,5 a 6 centímetros de diámetro interior y unos 28 de altura. En la parte superior se angosta en cuello y se cierra con un tapón esmerilado. En la inferior lleva un tubo de desagüe acodado en la disposición que muestra el dibujo. Al extremo exterior de este tubo de vidrio, se aplica otro de goma, que cae verticalmente y se puede abrir o cerrar mediante unas pinzas. El tubo suele llevar una doble graduación que indica, en un lado alturas en centímetros y milímetros, y en el otro los tiempos (en horas) de caída de la fracción arcillosa en la altura correspondiente. Como entre las alturas, la velocidad de caída y el diámetro equivalente de las partículas hay una determinada relación, según el tiempo en que cada vez se deje posar la suspensión, será el diámetro de las partículas que se hayan posado. Las que queden en suspensión serán menores que el diámetro mínimo de las posadas, y se eliminan abriendo salida con las pinzas. Merced a la disposición del tubo acodado, el agua que sale es la de la columna superior a la superficie del nivel de la que queda en el tubo. No basta con hacer la operación una vez para cada límite de fracción. Por una parte el nivel del agua que queda en el tubo es algo superior, naturalmente, al de la masa posada en el fondo; por otra, en ésta queda siempre una pequeña cantidad de elementos finos que, o se han adherido a los gruesos, o han

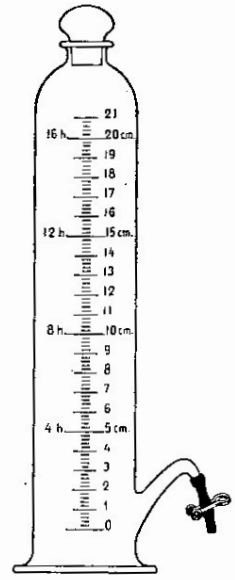


FIG. 5.—Tubo de Atterberg.

A la derecha graduación en centímetros y milímetros. A la izquierda graduación en horas.

llegado al fondo antes que los superiores alcanzasen el nivel de desagüe y se pudiese abrir la pinza. Por eso hay que volver a echar agua hasta el nivel superior correspondiente, agitar de nuevo y volver a dejar posar el tiempo adecuado, repitiendo el mismo proceso hasta que la columna que ha de salir se vea completamente limpia y libre de suspensión al final del tiempo.

Este, para una misma altura, varía según los límites de las fracciones que desean separarse. En cambio es posible con el mismo aparato separar fracciones de diferentes escalas: todo consiste en regular la altura de la columna de agua o el tiempo de caída.

La relación entre altura, tiempo y diámetro equivalente la da la fórmula deducida por Stokes:

$$T = \frac{H}{35.970\, r^2}$$

en la que T es el tiempo *en segundos,* H la altura de caída en *centímetros* y r el radio equivalente (es decir, la mitad del diámetro), también en centímetros (1).

En el acuerdo de Wáshington se ha establecido que, para la sedimentación de la fracción de diámetro menor de 2 micrones, se han de contar como tiempo ocho horas para una altura de 10 centímetros. Esto introduce una pequeña modificación en la constante admitida por Stokes. Pues, substituyendo en la fórmula estos valores de T, H y r, se convierte en:

$$T = \frac{H}{34.722{,}2\, r^2}$$

Sobre esta base, los tiempos de caída correspondientes a los otros límites de la escala de Atterberg inferiores al de 2 milímetros, serán:

288 segundos = 4 minutos, 48 segundos, para el diámetro de 20 micrones.

2,88 segundos para el diámetro de 200 micrones.

(1) Véase EMILIO H. DEL VILLAR: *La composición mecánica de los suelos,* «Ibérica», 1927; núms. 684, 686 y 687.

La única operación larga es pues la separación de la fracción I, (menor de 2 micrones), que se prolonga varios días. Si no es posible actuar en el laboratorio cada ocho horas, se pone doble altura de agua y se deja posar dieciséis horas, o se construyen tubos más altos, para 30 centímetros de altura, y se abre la pinza y renueva el agua cada veinticuatro horas; pero cuanto mayores sean los intervalos, más exceso de poso habrá cada vez y más se alargará la operación total. Aunque este procedimiento exige varios días para cada análisis, no requiere apenas trabajo una vez puesta la suspensión en el tubo. Además, poniendo en marcha muchos tubos a la vez, podremos obtener igual número de análisis en igual tiempo, resultando, v. g., a razón de uno o dos análisis por día.

Recoger la fracción arcillosa para irla reduciendo por evaporación, secarla y pesarla, es lo más exacto. Pero como esto puede ser también operación larga y poco económica por las grandes cantidades de agua necesaria para eliminar toda esa parte fina, cabe conformarse con una exactitud menor pero prácticamente suficiente, y secar y pesar sólo las fracciones mayores y calcular la arcillosa por diferencia.

Aplicando la fórmula de Stokes, y variando consiguientemente la altura de caída y el tiempo, el tubo de Atterberg nos permite separar las fracciones que queramos, de cualquier escala que sea.

Pero, tanto con este aparato como con los anteriormente citados, lo que podemos separar o calcular son fracciones definidas, que fragmentan la muestra total en un número limitado de partes. El ideal sería expresar la composición mecánica, no en una suma, sino en una curva continua. A esto tiende el aparato de Wiegner, que, además, reduce el análisis mecánico a una duración mínima; menos de tres días para llegar hasta el límite de 2 micrones de diámetro; y menos de tres horas para llegar hasta los 10 micrones, que es el límite de la fracción I de Kopecky.

El aparato de Wiegner está fundado en la teoría de los vasos comunicantes. En éstos un líquido uniforme llegará, en estado de equilibrio, al mismo nivel en ambos; pero si se aumenta o disminuye la densidad en una rama del aparato, el nivel de la otra aumentará o disminuirá en proporción. En consecuencia, el dispositivo consta de un tubo de vidrio de unos 110 centíme-

tros de largo por 4 o 5 de diámetro interior, y otro más corto de un centímetro de diámetro, que comunica con él a cierta altura. Inmediatamente encima del arranque del tubo angosto hay en él una llave para abrir o cerrar su comunicación con el anterior. Ambos tubos están graduados en centímetros y milímetros, correspondiendo el cero al nivel superior del orificio de comunicación.

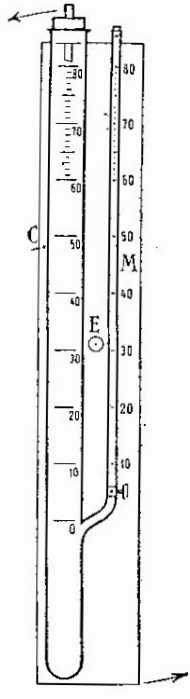


FIG. 6
Tubo de Wiegner.

C, tubo de caída. — M, tubo de medida. — E, eje alrededor del cual gira todo el aparato, como indican las flechas.

Si se introduce agua destilada en ambos tubos, y se abre luego la llave de comunicación, el agua se pondrá en ambos al mismo nivel. Pero si en el tubo mayor se introduce una suspensión de tierra, el contenido de este tubo sumará una densidad mayor que el agua destilada, y, al abrirse la comunicación, el agua destilada del tubo angosto quedará a mayor altura. Mas las partículas de la suspensión irán cayendo y se irán depositando bajo el nivel del cero en el fondo o talón del tubo mayor. Así irán desapareciendo de la parte graduada de éste, primero las mayores, y luego las demás, por orden descendente de tamaños. Con esto irá disminuyendo la densidad del contenido sobre el cero del tubo mayor, y en proporción irá bajando el nivel del agua en el tubo menor. Las diferentes alturas que señalen su descenso estarán en correspondencia con las diferentes fracciones mecánicas que vayan cayendo por debajo del cero. Los diferentes niveles señalados por la superficie del agua en el tubo menor, serán pues medida de las diferentes fracciones mecánicas. Pero como este descenso de nivel es gradual y continuo, si lo fotografiamos sobre una película que se vaya moviendo circularmente merced a un aparato de relojería, obtendremos la expresión de la composición mecánica en una curva continua, en la cual podremos luego medir las fracciones que deseemos.

El aparato de Wiegner se puede pues utilizar, ya tomando

las alturas en tiempos determinados, y deduciendo de ellas el diámetro límite de la fracción caída y la proporción de ésta, ya en combinación con un aparato fotográfico obteniendo la expresión gráfica automática del resultado. El inventor opera preferentemente de este último modo y obtiene fotografías de la mayor precisión.

El cálculo de la relación entre las alturas y la proporción que se persigue, se obtiene en virtud de cualquiera de las dos siguientes fórmulas, que son equivalentes:

$$\frac{B_T}{B_A} = \frac{H_T - h_T}{H_A - h_A}$$

o bien:

$$H_T - h_T = \left(\frac{H_A - h_A}{B_A}\right) . B_T \quad (1)$$

en las cuales:

H_A es la altura inicial mayor, o sea la del agua del tubo angosto o de medida.

H_T es la altura del mismo nivel al final del tiempo T.

h_A es la altura inicial del agua con la suspensión en el tubo ancho o de caída.

h_T la altura del agua en ese mismo tubo al final del tiempo T.

B_A es el peso en gramos de la tierra total contenida al comienzo de la caída en el tubo ancho por encima del cero.

B_T es el peso en gramos de la tierra contenida en ese mismo tubo, por encima del cero, al final del tiempo T, lo que equivale a decir, después de eliminada la fracción que ha caído en ese tiempo; fracción cuya naturaleza se deduce de la fórmula de Stokes ya expuesta.

La primera ecuación nos dice que: el *porcentaje (en gramos) de tierra al final del tiempo* T (respecto del peso inicial, igual a 100) es igual *al porcentaje de la diferencia de alturas de los meniscos al final del tiempo* T (respecto de la diferencia inicial, igual a 100).

La segunda nos traduce lo mismo en otros términos: que la *diferencia de alturas de meniscos,* al final del tiempo T, es *proporcional al peso de la cantidad de tierra* que queda *en el tubo de caída.*

(1) El razonamiento físico-matemático mediante el cual se llega a esta fórmula final está expuesto en el citado trabajo *La composición mecánica de los suelos,* publicado en la revista «Ibérica».

El aparato tiene, para facilitar su uso, ciertos aditamentos que aún no hemos mencionado. Los dos tubos están provistos de tapones de goma. El del tubo mayor está atravesado por un tubito angosto, a su vez provisto también de tapón. El aparato va montado sobre una plancha, de hierro o de madera, fija por el centro a un soporte fijo, mediante un eje, alrededor del cual puede girar.

El empleo se hace con los siguientes detalles.

Ante todo hay que preparar la suspensión. Se toma una cantidad de tierra suficiente para originar en los tubos un desnivel bastante sensible. Esto se consigue empleando 60 gramos de tierra tamizada a 2 milímetros. Esta tierra se deslíe bien en agua, teniéndola algún tiempo al fuego, y revolviendo y oprimiendo bien, como se hace en el procedimiento elemental para separar la fracción llamada «arcilla». Luego se deja en reposo hasta el día siguiente. No es necesario pesar previamente la muestra total, ni por lo tanto secarla; pues lo que se deduce son las proporciones de cada fracción y no sus pesos absolutos. Llegado el momento, primero se llena de agua destilada, hasta el borde, el tubo angosto, con la llave cerrada, y se tapa no dejando ninguna burbuja de aire entre el agua y el tapón. Luego, con un embudo bien ancho, se va echando la suspensión en el tubo mayor, se lava el embudo sin quitarlo, y por fin se añade agua, hasta que su nivel llegue un poco por encima de la señal de los 700 milímetros, que es el nivel que se toma como base de cálculo. Hecho esto, se tapa y, durante un largo rato, se hace mover circularmente todo el aparato, para que la suspensión contenida en el tubo ancho se mezcle bien y se reparta por igual en todo él. Entonces, aun cuando parte de la muestra quede debajo del cero y no figure en el cálculo, esto no importará, pues la parte principal, que estará encima del cero, tendrá la misma composición mecánica que la parte inferior y que la totalidad de la muestra. Cuando se ha conseguido esto, se deja bruscamente el aparato en posición vertical (lo que se obtiene mediante un tope); se quitan los dos tapones pequeños, y se abre la llave. Para que todo sea lo más instantáneo posible, los últimos movimientos circulares del aparato se pueden hacer sin los tapones pequeños, obturando con dos dedos, respectivamente, de la mano izquierda, el tubo que atraviesa el tapón ancho, y el tubo angosto. Así, al mismo tiempo que el tope detiene los tubos en la posición vertical, se levantan los dedos de la mano izquier-

da que tapaban los tubos, y se abre la llave con la mano derecha. En ese mismo instante, a la voz de mando del operador, un ayudante pondrá en movimiento un cuentasegundos puesto precisamente en el cero, y así se podrá medir el tiempo de caída.

Si no se opera con máquina fotográfica (que encarece grandemente el aparato), se puede proceder de dos maneras, o bien observando los tiempos de una serie de alturas precisas determinadas, o bien calculando los tiempos correspondientes a las fracciones que se quieren determinar y observando las alturas en esos tiempos, que indicará el cronómetro. Las alturas se observan en ambos tubos, pero primero en el angosto, que es donde varían más de prisa; y se cuentan por debajo de los meniscos. Al comienzo de la operación, sin embargo, el menisco del tubo ancho no aparece claro; por lo cual se puede leer por encima y al final observar la anchura del menisco y descontarla. El menisco del tubo angosto desciende rápidamente, sobre todo al principio. El agua que desaparece en este descenso pasa al tubo ancho, y por lo tanto hace aumentar su nivel; pero, a causa de la diferencia de diámetros, este aumento de nivel del tubo mayor es muy pequeño. La altura inicial del tubo angosto es muy difícil de observar. Lo más práctico es prescindir de ella y empezar por observar la segunda de la serie que nos hemos propuesto. Así quedará sin apreciar la fracción más gruesa, v. g., la de 2 milímetros a 0,2. Pero ésta se aprecia mejor, como hemos visto, por tamizado con lavado, en una muestra aparte, y una vez conocida, se deduce luego de la cuenta.

He aquí ahora cómo se hace el cálculo.

Supongamos que queremos determinar a la vez las fracciones de la escala de Atterberg y de la de Kopecky. Aplicando la fórmula de Stokes, deduciremos que los tiempos de caída para cada fracción serán los siguientes, para la altura de 700 milímetros:

Diámetro equivalente en micrones	TIEMPO DE CAÍDA EN 700 MILÍMETROS		
	Horas	Minutos	Segundos
200			20,16
100		1	20,64
50		5	21
20		33	36
10	2	14	24
2	56	0	0

La observación de alturas la haremos pues al cabo de estos espacios de tiempo a partir del momento inicial en que hemos echado a andar el cronómetro. Supongamos que las alturas que leemos directamente son las siguientes:

TIEMPOS			ALTURAS LEÍDAS DE LOS MENISCOS	
Horas	Minutos	Segundos	H (en el tubo angosto)	h (en el tubo ancho)
0	0	0	76,4	71,8
0	0	20	75	72,0
0	1	21	74,5	72,4
0	5	21	73,5	72,6
0	33	36	73,2	72,7
2	14	24	73	72,8
56	0	0	72,9	72,8

Restando de los valores de H los respectivos de h, obtendremos las siete diferencias (H—h) siguientes: 4,6, 3, 2,1, 0,9, 0,5 0,2, 0,1. La primera es la diferencia de niveles en el momento inicial. Se hace pues esta diferencia igual a 100, y se calculan las proporciones de las demás:

$$\frac{4,6}{100} = \frac{3}{x_1} = \frac{2,1}{x_2} = \frac{0.9}{x_3} \text{ etc.}$$

Los resultados son: 100, 65,2, 45,6, 19,5, 10,9, 4,3, 2,2.

Restando entre sí cada dos números consecutivos de esta serie, obtendremos estas diferencias: 34,8, 19,6, 26,1, 8,6, 6,6, 2,1, que serán los porcentajes buscados.

Todo este cálculo se sintetiza en el cuadro XV:

CUADRO XV

OBSERVACIÓN				CÁLCULO			
				H — h		PORCENTAJE DE LAS FRACCIONES	
Tiempos h.	m.	s.	H	h	Absoluto	Por ciento	Por ciento	Fracción correspondiente
0	0	0	76,4	71,8	4,6	100	34,8	2.000 a 200 μ
0	0	20	75	72,0	3	65,2	19,6	200 » 100 »
0	1	21	74,5	72,4	2,1	45,6	26,1	100 » 50 »
0	5	21	73,5	72.6	0,9	19.5	8,6	50 » 20 »
0	33	36	73,2	72,7	0,5	10,9	6,6	20 » 10 »
2	14	24	73	72,8	0,2	4 ,3	2,1	10 » 2 »
56	0	0	72,9	72.8	0,1	2,2	2,2	< 2 »
							100,0	

El acuerdo de Wáshington sobre análisis físico-mecánico, fruto de una larga serie de trabajos cada vez más convergentes, se refiere no sólo a la escala y relación entre tiempos, diámetros y altura de caída, sino a los detalles del procedimiento de separación física. Mejor dicho, el acuerdo es doble, comprendiendo un método, *A*, para el análisis físico-mecánico, y otro, *B*, para el mecánico exclusivamente. En el primero las fracciones mecánicas se refieren sólo a la que hemos llamado «porción mecánica», computándose aparte los carbonatos, humus, etc. En el segundo las fracciones mecánicas se refieren a la muestra total.

Descripción del método A.—Este método es, por consiguiente, el de más fondo, y comprende dos partes, relativas a lo que hemos llamado «análisis físico» y «análisis mecánico». Para la separación física el procedimiento es único. Para la mecánica de la porción correspondiente se mantiene la libertad de procedimiento, pero se fijan los detalles para cada uno, según se emplee el cilindro de sedimentación o los métodos llamados de pipeta.

Aquí haremos la descripción del proceso total con el empleo del cilindro de sedimentación o tubo de Atterberg ya descrito, y por lo tanto adaptando al acuerdo de Wáshington el método preconizado por Hissink en 1925, que es uno de los antecedentes del acuerdo (1).

La muestra debe tomarse en el campo de modo que represente el término medio del horizonte correspondiente. En su estado de humedad natural, debe desmenuzarse todo lo posible, poniéndola así a secar al aire en el laboratorio. Los restos orgánicos grandes y no humificados deben separarse. Y la muestra total tamizarse por fin a 2 milímetros en un tamiz de agujeros redondos. En este tamizado se cuidará de deshacer bien los agregados, que podrían dejar sobre el tamiz partículas menores que sus orificios.

La cantidad de suelo tamizado que ha de someterse al análisis, no puede fijarse. Variará según la naturaleza del suelo y el método de disociación mecánica que después del tratamiento químico haya de aplicarse. Si el suelo es muy arcilloso o contiene mucho humus, se tomará una porción menor que si fuera

(1) D. J. HISSINK: *Método de análisis mecánico del suelo*, Comunicaciones de la Soc. Int. de la Ciencia del Suelo, 1925, vol. 3.

por el contrario muy arenoso y pobre en materia orgánica. Si se hubieran de separar las fracciones mecánicas por el tubo de Wiegner, habría que tomar, por término medio, cincuenta o sesenta gramos de tierra tamizada; mientras que, si se ha de sedimentar con el tubo de Atterberg, bastará tomar, v. g., diez. Supongamos esto último.

El suelo seco al aire, tamizado y pesado, se coloca en un vaso de medio a un litro de capacidad. Se añaden 50 centímetros cúbicos de agua oxigenada (químicamente expresado, peróxido de hidrógeno, $H_2 O_2$) a 6 por ciento o sea a 20 volúmenes; y el recipiente con su contenido se mete en un baño de agua hirviendo o se pone en la plancha eléctrica. El efecto del agua oxigenada es destruir el humus por combustión, o reducir el no destruído a materia soluble. La reacción se manifiesta vigorosa, formándose mucha espuma. Durante ella se agita el contenido con frecuencia, y se va añadiendo agua oxigenada hasta que ya la espuma deje de formarse. Si el volumen creciese mucho o muy rápidamente, se puede enfriar un rato y luego continuar. Si la muestra careciese de humus o solamente lo tuviese en proporciones mínimas, puede suprimirse este primer tratamiento.

Terminado éste, se deja enfriar y se procede luego al segundo tratamiento, por ácido clorhídrico, para eliminar los carbonatos, transformándolos en cloruros solubles, que son luego arrastrados por el lavado. Como el ácido ataca además otros elementos, los alofánicos con sus elementos en adsorción, hay que emplearlo muy diluído, a fin de que este exceso se reduzca a un mínimo. La concentración prescrita es la solución quinto-normal ($N \cdot 0{,}2 = N/5$). Esta solución contiene 7,24 gramos por litro. Si el ácido clorhídrico de marca que se emplea tiene 22 grados Baumé, para prepararla se tomarían de él 17,32 centímetros cúbicos (que contienen los 7,24 gramos de ácido puro), se echarían en un matraz tarado de litro y se completaría con agua destilada hasta la señal marcada en el cuello. Pero, si empleáramos esta solución, como en el recipiente hay agua procedente del primer tratamiento, el ácido resultaría en realidad más diluído aún. Hay que preparar pues el ácido algo más concentrado calculando las cosas de modo que después de la adición resulte el líquido total del frasco ser esa solución quinto-normal, en un volumen total de 250 centímetros cúbicos. Es decir que, si teníamos antes 50 centímetros cúbicos de líquido en el frasco,

aproximadamente, en los 200 que añadamos ha de haber 1,81 gramos de ácido puro o 4,33 centímetros cúbicos de preparado a 22 grados Baumé, lo que dará para los 250 centímetros resultantes la proporción quinto-normal. Si la muestra es caliza, en este caso hay que emplear primero el ácido necesario para atacar los carbonatos, y, cuando ya no se obtenga efervescencia, completar la adición hasta obtener esa concentración final indicada. Al fin se deja todo el contenido en digestión, durante una hora, agitando con frecuencia.

Con esto queda terminada la primera parte de la operación o tratamiento químico para la separación física. La materia sólida que queda en suspensión en el líquido es la «porción mecánica».

Para la segunda parte el detalle varía, como hemos dicho, según el procedimiento de separación mecánica que se adopte. Si se ha de emplear el de pipeta, la porción mecánica debe lavarse sobre un filtro, hasta que el filtrado haya dejado de dar reacción ácida. Una vez lavada, se tamiza, lavando con agua caliente en un tamiz de agujeros redondos de dos décimas de milímetro. Lo que queda sobre el tamiz será la fracción IV o de arena gruesa (2.000 a 200 micrones) de Atterberg. El tamizado contendrá la suma de las fracciones más finas. Para analizarlo se lleva al extremo la disociación de sus partículas agitando en agua amoniacal (medio litro de agua destilada conteniendo 50 centímetros cúbicos de amoníaco al 10 por ciento), durante veinticuatro horas en movimiento rotativo o dos horas en sacudida horizontal. Se extiende luego la suspensión en un litro de agua y se pipeta.

Si se ha de emplear, como hemos supuesto, el tubo de Atterberg, el procedimiento es más sencillo. El producto del sucesivo tratamiento por el agua oxigenada y el ácido clorhídrico, se deja en digestión una hora, agitando con frecuencia; y luego se echa todo en dicho tubo de Atterberg, añadiendo el agua destilada necesaria para que la superficie llegue al nivel del caso, v. g., 20 centímetros para dieciséis horas de sedimentación.

En este tiempo se depositarán en el fondo todas las partículas mayores de 2 micrones como diámetro equivalente, si el líquido es el agua destilada. Aquí el líquido contiene en disolución las substancias procedentes de las reacciones anteriores; pero esto no introducirá ningún error en el resultado; porque

este líquido lo hemos acidulado al fin, y el ácido hace caer los coloides más rápidamente al fondo, de modo que, por esto y por la adherencia a otras partículas mayores, la cantidad de coloides que a las dieciséis horas quede en suspensión en la columna líquida superior al nivel de salida, será mucho menor que la total que deseamos separar.

A las dieciséis horas se abre pues la pinza y se descarga el aparato. Se vuelve a echar agua y a agitar y se deja nuevamente en reposo otro tanto tiempo (o solamente ocho horas, si el agua se ha puesto sólo hasta el nivel de 10 centímetros). Pasado este tiempo se descarga otra vez. Y se siguen repitiendo estos lavados, con agua destilada, hasta que desaparezca la reacción ácida (probando con el papel de tornasol).

Luego ya se puede extremar la dispersión de los coloides, para lo cual los lavados se hacen con agua amoniacal en solución decinormal. Cuando al final del tiempo de sedimentación la columna de agua que ha de eliminarse aparece limpia de turbidez, se le da salida, y queda terminada la eliminación de la fracción I o sea la de diámetro menor de 2 micrones.

Las otras, según la escala de Atterberg o la que en su lugar se desee, se pueden separar con el mismo cilindro hasta aquellas en que el tiempo de caída resulte demasiado breve para poderse contar con exactitud. Así, en la misma escala de Atterberg, podremos separar la fracción II (de 2 micrones a 20), dejando sedimentar cuatro minutos y cuarenta y ocho segundos para una altura de 10 centímetros, o doble tiempo para una altura de 20 centímetros. En este caso convendrá preferir la primera, para tener en la descarga la menor cantidad de agua posible. También aquí es necesario repetir la operación varias veces, hasta que en la columna que debe descargarse no se vean partículas (o si se ven no sea en cantidad que afecte sensiblemente al peso).

La fracción de 20 a 200 micrones exige un tiempo de caída de sólo 2,88 segundos para 10 centímetros de altura, y este tiempo ya no puede medirse con exactitud suficiente. Empleando tubos más largos en que el nivel pueda elevarse a 30 centímetros, el tiempo se convierte en 8,64, prácticamente ocho segundos y medio, que ya se pueden medir con bastante aproximación. Pero en este caso se habrá empleado mucha cantidad de agua en las reiteradas descargas del aparato. Puede pues resultar más cómodo apartar, después de eliminada la fracción II, todo

el resto, que contendrá las fracciones III (de 20 a 200 micrones) y IV (de 200 a 2.000); y, después de haber secado y pesado este total, dividirlo por tamizado (en tamiz de agujeros redondos de 0,2 milímetros, con lavado).

Como quiera que en esto se proceda, cada una de las fracciones separadas por sucesivas descargas del tubo, debe secarse a 105 grados y pesarse. El resultado se expresa en tanto por ciento de la tierra total tamizada a 2 milímetros y seca a la temperatura de 100 a 110 grados.

La fracción I (<2 milímetros) no es cómoda de apreciar directamente con el tubo de Atterberg, pues se elimina con grandes cantidades de agua, y su separación por filtrado resulta larga y con ciertos inconvenientes. Pero se puede calcular por diferencia:

$$\text{Fracción I} = 100 - (\text{II} + \text{III} + \text{IV} + \text{Humus} + \text{Carbonatos})$$

Necesitamos pues saber las cantidades de humus y de carbonatos para llegar a la cuenta final.

Los carbonatos pueden determinarse en el líquido filtrado de que hemos hablado en la preparación para el método de pipeta; o en el que saquemos del tubo de Atterberg en el principio de la sedimentación hasta que haya desaparecido la reacción de cloruros (lo que se comprobará con el nitrato de plata). En el segundo caso nos encontraremos quizás con una cantidad de líquido molesta por lo excesiva. Pero también se pueden determinar los carbonatos en una muestra aparte, tratándola por el ácido clorhídrico quinto-normal que empleamos para eliminarlos en la que ha de sedimentarse. En las determinaciones del líquido filtrado, lo que hallaremos serán las bases, cal y magnesia, que valoraremos por los medios químicos expuestos en el capítulo III, deduciendo de sus proporciones las de los carbonatos respectivos. Pero, aun puede afinarse más, si, en una muestra distinta (pero igual) determinamos el carbónico (CO_2) por pesadas. En este caso lo distribuiremos proporcionalmente a las bases, y encontraremos probablemente un exceso de éstas. Este exceso corresponde a las que no estaban en forma de carbonato, sino movilizadas en adsorción por los coloides. Este exceso debe englobarse en la fracción I. Lo mismo debe decirse de los coloides que el ácido clorhídrico haya atacado, y que se pondrán de manifiesto si se trata la solución clorhídrica filtrada, por el

amoníaco. En este caso determinaremos también, como se ha expuesto en el análisis químico, la suma de sesquióxidos. Si la fracción I del análisis mecánico se aprecia directamente, hay que añadir a ella los valores de esta suma de sesquióxidos y del exceso de bases. (La sílice soluble que se arrastra con una solución clorhídrica tan diluída, suele ser insignificante y acostumbra despreciarse.) Si la fracción I se ha de apreciar por diferencia, no es necesario determinar los sesquióxidos, pues en la diferencia quedarán automáticamente incluídos, lo mismo que el exceso de bases, la sílice y demás substancias ajenas a los carbonatos que el tratamiento por el clorhídrico haya podido restar a la muestra; de modo que, por este lado, se gana en exactitud. Y si la muestra no tuviese sino carbonato de calcio y no de magnesio, bastaría la determinación del carbónico para deducir la cifra de los carbonatos.

El humus se puede determinar por los procedimientos que también se han expuesto, siendo el más sencillo el de la ignición con deducción del agua química. Ya hemos dicho que Hissink había encontrado equivaler ésta al 6,3 por ciento de las fracciones I + II de Atterberg. Aquí podemos aplicar este dato.

Llamando pues P a la pérdida por ignición que apreciamos directamente, y C a la suma de carbonatos que determinaremos como queda expuesto, el valor de la fracción I, deducido por diferencia, se obtendrá mediante esta fórmula:

$$I = \frac{[100 - (II + III + IV + P + C) + \frac{6,3}{100} \times II] \times 100}{93,7}$$

en cuyo segundo miembro todos los términos nos son conocidos.

Si la muestra contiene sales solubles, éstas quedarán eliminadas en las primeras descargas del tubo de Atterberg, y su cuantía quedará también englobada en la fracción I (menor de 2 micrones). Pero si dichas sales se encuentran en proporción sensible (la necesaria para que el suelo pueda calificarse de salino), convendrá expresar aparte su cuantía, mediante determinación química en muestra distinta, y restándola del valor bruto obtenido para la fracción I con la fórmula anterior.

Si la muestra contiene yeso, lo que en España ocurrirá con cierta frecuencia, estaremos en el peor de los casos, y será nece-

sario emplear cantidades lo menores posibles de muestra, y lavar mucho tiempo con agua, empleando grandes cantidades de ésta, en la separación de la fraccción I, no empezando a lavar con amoníaco hasta que el agua descargada del tubo deje de dar reacción de sulfatos (lo que se comprobará con el cloruro o nitrato de bario). En este caso, el yeso quedará englobado en el valor bruto de la fracción I cuando se determine por diferencia, y es necesario separarlo. Para ello se determina en muestra aparte la proporción de sulfato de calcio, por los métodos químicos que ya conocemos; se le agrega la parte correspondiente al agua química que tiene el yeso, y la suma será la proporción de éste, que se restará también del valor bruto de la fracción I. La diferencia será el valor neto o verdadero de esta fracción.

Observación: la relación:

10 centímetros — 8 horas — 2 micrones

es la base única adoptada para toda sedimentación de fracciones mecánicas, cualquiera que sea la escala: el cálculo de altura de caída y tiempo para cada una se hace sobre esta base única aplicando la fórmula de Stokes. Estos valores corresponden rigurosamente a la temperatura de 20 grados centígrados. Si la sedimentación se hace a una temperatura sensiblemente diversa, hay que introducir la corrección correspondiente.

Descripción del método B.— Este método se aplica al análisis mecánico por levigación, ya sola, como ocurre en el aparato de Kopecky, ya combinada con la sedimentación, v. g., para la fracción menor de 2 micrones. En concepto del autor sería el que corresponde tambien aplicar al método de sedimentación de Wiegner, ya porque su aparato requiere el empleo de una porción de tierra demasiado grande para el tratamiento químico, ya porque el mismo Wiegner presenta en su método la determinación sin ese tratamiento.

La muestra secada al aire, tamizada a 2 milímetros, y pesada, preparada en suma con los mismos detalles que para el método A antes del tratamiento químico, se pone en una cápsula de porcelana de unos 18 centímetros de diámetro, por lo menos, en el borde, junto con 200 centímetros cúbicos de agua destilada; se revuelve bien con una varilla de vidrio; y se deja reposar veinticuatro horas. Al día siguiente se hierve durante dos horas

al pico de gas o en la plancha eléctrica, removiendo frecuentemente con una varilla de vidrio y compensando el agua evaporada, para impedir la formación de costras en las paredes de la cápsula. Esta ebullición puede substituirse por una enérgica disociación con una goma o con el dedo, seguida de una agitación mecánica de 200 vueltas por minuto. Si se hierve, debe taparse la cápsula con un vidrio, para evitar pérdidas por proyección. Después de la ebullición o la agitación, se deja en reposo el contenido toda la noche. Al día siguiente se vierte la parte líquida y turbia del contenido en el aparato de levigación. El poso que quede en la cápsula se disocia bien, durante cinco minutos, mediante un pisón de goma o con el dedo, como en la separación mecánica por el método elemental, y el líquido turbio se añade (sin dejarlo posar) a la porción anterior. Se vuelve a apisonar el poso y a echar agua y verter la suspensión reuniéndola con las anteriores; y se repite la misma operación hasta que el líquido deje de enturbiarse y en la cápsula no quede más que arena. Entonces se vierte en el mismo aparato este residuo, así como el agua de lavar la cápsula y el pisón o los dedos (esto a cada decantado).

Una vez acabada de verter toda la muestra, ya se puede hacer funcionar el aparato de levigación mecánica. Separadas las fracciones, se seca cada una y se pesa. La más fina puede deducirse por diferencia. Queda sobreentendido que si este procedimiento se aplica al aparato de Wiegner, no hay que secar ni pesar fracciones, sino leer las alturas sucesivas y hacer el cálculo como atrás queda expuesto, o aplicar el procedimiento fotográfico.

El resultado de esta operación será obtener el tanto por ciento de las fracciones mecánicas, con el humus, carbonatos y sales solubles que a cada una correspondan; y claro está que éstas y los coloides irán a integrar la fracción de diámetro inferior.

CAPÍTULO VII

FÍSICA DEL SUELO

Los elementos que separa el análisis mecánico están en las tierras mezclados; y las partículas que disocia el análisis físico no están de ordinario sueltas, sino más o menos adheridas unas a otras (de aquí la necesidad de procedimiento previo para separarlas antes de proceder a la levigación o sedimentación). De la composición mecánica y de la aglutinación y disposición de sus elementos, resultan tres aspectos de la condición de la tierra: la textura, la consistencia y la estructura.

Estos tres conceptos fueron estudiados con especial atención por Nabokich, pero luego se ha tratado de precisarlos aun más, v. g., por Stremme (1). Según el criterio hoy dominante, podemos definirlos como sigue:

Textura es la condición de una tierra resultante del sistema de oquedades que penetra su masa. Son calificativos generales de *textura*, los de *fina* o *gruesa, compacta* o *suelta, regular* o *irregular*. Y calificativos especiales, los de *porosa, esponjoso-porosa, tubular, tubular-porosa, reticulado-tubular, cavernosa* (sistema irregular y ramificado de oquedades) y *laminar*. Las diferencias de textura originan subdivisiones en los tipos de estructura de que a continuación tratamos. La textura está en parte influída por los factores del medio extraños a los componentes del suelo mismo, v. g., los efectos de la circulación del aire y del agua, de las heladas, la actividad de los gusanos de tierra, etc., las labores agrícolas, el tránsito reiterado del ganado, etc.

Consistencia es la resistencia de la masa de tierra a la penetración. Los dos extremos de este aspecto son las tierras *tenaces* o *fuertes* y las *flojas* o *muelles*. La consistencia depende princi-

(1) H. STREMME: *Grundzüge der praktische Bodenkunde*. Berlín, 1926.

palmente de la composición mecánica o físico-mecánica, y también de la humedad. Tierras con alta proporción de arcilla serán tenaces, sobre todo en clima seco. En clima húmedo la tenacidad será menor. Tierras con alta proporción de arena y escasos coloides serán flojas, llegando hasta una verdadera inconsistencia, como ocurre en los suelos de dunas. Pero una más elevada proporción de humus disminuirá, en igualdad de las demás condiciones, la tenacidad de las arcillosas, y aumentará la de las arenosas.

Estructura es la condición resultante en la tierra de la forma de agregación de sus partículas. Este aspecto es el que ofrece mayor variedad. Entre los numerosos tipos de estructura que ofrecen los suelos, pueden enumerarse los siguientes:

1. *Arenosa:* la agregación es nula o mínima.
2. *Migajosa:* agregados de varios tamaños, hasta 2 centímetros, y forma irregular; textura porosa o cavernosa; y consistencia débil a mediana.
3. *Farinácea:* agregados menores de medio centímetro, de forma irregular, y consistencia débil a muy débil.
4. *Granujienta:* agregados de 2 a 3 milímetros, por lo regular; de forma toscamente esférica, y consistencia dura.
5. *Granular:* agregados hasta 2 centímetros, de forma subangular a redondeada, y consistencia media. Se subdivide, según la textura, en:

   a) *fina:* agregados menores de 5 milímetros;
   b) *gruesa:* agregados de 5 a 20 milímetros.

6. *Nuciforme* o *globular:* agregados de medio a 4 centímetros, redondeados y más o menos compactos, de consistencia media a fuerte.
7. *Terronulosa:* agregados de 2 a 10 centímetros, de forma irregular, y consistencia media a fuerte. Divisible, según la textura, en:

   a) fina: agregados de 2 a 3 centímetros
   b) media: » de 3 a 6 »
   c) gruesa: » de 6 a 10 »

8. *Terronosa:* agregados de 8 centímetros en adelante, de

forma irregular angulosa y consistencia más o menos fuerte. Divisible, según la textura, en:

a) fina: agregados de 8 a 12 centímetros
b) media » de 10 a 20 . »
c) gruesa » mayores de 20 »

9. *Tabular:* tendencia a agregación en losas o bancos.

10. *Hojosa:* tendencia análoga en capas más finas. (Estas dos estructuras pueden resultar correlativas de la textura laminar; pero los conceptos no son idénticos.)

11. *Crustiforme:* agregados extendidos sobre todo paralelamente a la superficie, pero de grueso y contornos irregulares.

12. *Columnar:* agregados extendidos en sentido vertical, formando columnas más o menos gruesas.

13. *Prismática:* agregados, también con su mayor dimensión en sentido vertical, pero generalmente más angostos y limitados por caras planas: estos prismas suelen acabar por fragmentarse en sentido transversal. A este tipo pertenece el canutillo o estructura acanutillada, característica del horizonte de acumulación de coloides en los suelos de las arenas silíceas de la llanura matritense.

14. *Poliédrica:* agregados que en la superficie se acusan en forma de polígono más o menos grandes, separados por grietas de profundidad variable. Característica de los desiertos arcillosos y salinos.

14. *Reticulada.*

16. *Puposa:* agregados en forma de muñequillas (irregulares y de consistencia fuerte), característicos de los horizontes de acumulación caliza, en su parte superior o en las superficies de exposición.

La estructura resulta de muchas causas, pero principalmente de los factores que concurren en la dinámica propia de cada tipo de suelo. Sus diferencias en los varios horizontes contribuyen a caracterizar el perfil. En las mismas descripciones de los términos hemos tenido que hacer referencia varias veces a los tipos de suelo.

Textura, consistencia y estructura son caracteres de las *tierras,* no de los suelos *stricto sensu;* es decir, que no afectan por igual a todo el perfil, sino que varían de uno a otro horizonte del mismo.

Pero hay otros dos caracteres de orden mecánico que, aunque referentes el uno a la superficie y el otro al espesor, afectan a las condiciones de todo el perfil. Estos caracteres son: la *inclinación* y la *profundidad.*

Cuanto mayor es la *inclinación* de la superficie, más expuestos están los niveles superiores a la erosión. Los suelos muy pendientes no suelen por esto alcanzar gran profundidad, y difícilmente maduran. Conforme los factores edáficos van transformando la roca madre en suelo propiamente dicho, los materiales de éste, recién elaborados, son arrastrados por los vientos y las lluvias. La frecuentación del ganado, removiendo la superficie, viene a favorecer esta acción. De aquí la frecuencia de asomes rocosos en las faldas abruptas de las montañas. La vegetación, factor del suelo, produce efectos contrarios a la erosión y el pastoreo. Si es densa, v. g., de bosque con nutrido sotobosque, las raíces grandes de los árboles, insinuándose entre las grietas de las rocas, seguirán facilitando la disgregación y descomposición del substrato, y el fieltro general de raíces sujetará la tierra formada e impedirá o dificultará su arrastre. En consecuencia, la desforestación y el pastoreo libre tienden a arruinar los suelos de montaña. Así en España, una inmensa parte de la superficie consiste en terrenos pendientes, estos terrenos han sido en su mayoría desforestados y entregados a un cultivo fugaz y al pastoreo libre; como consecuencia, una enorme extensión de los suelos españoles se encuentran más o menoses queletizados, que es lo mismo que decir destruídos. Es decir, que *en España la superficie del suelo es muchísimo menor que la superficie del país.*

La *profundidad* se puede entender de dos maneras. La profundidad del suelo propiamente dicho, es el espesor de los estratos edáficos o pedológicos exclusivamente. Pero, en el lenguaje ordinario, por profundidad del suelo se sobreentiende el espesor total de los estratos de textura más o menos suelta, por oposición a los de roca viva. En este espesor se comprende el suelo propiamente dicho y todos los estratos sueltos subyacentes, así de la roca madre (si el suelo es sedentario) como de otras. En gracia de la claridad llamaremos a lo primero *profundidad edáfica,* y a lo segundo *profundidad bruta.* La profundidad edáfica corresponde al tipo o subtipo de suelo y a la etapa de su evolución. En la profundidad bruta tiene una parte naturalmente el suelo *stric-*

to sensu, pero en muchos casos resulta principalmente del factor geológico, y la profundidad edáfica resulta más bien efecto que factor de ella. En efecto, el substrato de roca viva ofrece a la acción de los factores del suelo una resistencia variable según la litología, pero siempre mucho mayor que las rocas sueltas, como las arenas silíceas o margosas, las margas terrosas, las arcillas, etc. Así, sobre un substrato de roca viva, la formación del suelo será lenta, y tardará mucho en llegar a las etapas de madurez; y la dificultad llegará al máximo si la superficie es más o menos pendiente. De aquí la gran dificultad de reconstruir los suelos de montaña esqueletizados. El medio es una repoblación forestal enérgica, cuando es posible, o, en los casos más desfavorables, una repoblación previa de matorral fisurícola, o monte alto también fisurícola de menor valor económico, como preparatoria de la definitiva. En cambio, dentro del mismo clima, el mismo tipo de suelo alcanzará mayor desarrollo y llegará más pronto a la madurez sobre un substrato suelto. Por eso, en la investigación edafológica, es en las llanuras donde principalmente hay que ir a estudiar los tipos de suelo: en ellas resolveremos el problema que nos plantean en las faldas montañosas suelos en las primeras etapas de su evolución, o en estado siempre reincipiente. La dificultad de desarrollo para el suelo es en cambio mínima, donde los agentes de erosión y constructores de los horizontes pedológicos actúan con máxima energía. Así ocurre en los países cálidos y lluviosos de las bajas latitudes, donde son características las grandes profundidades edáficas sobre substratos de roca viva.

La profundidad del conjunto, la inclinación de su superficie, y la textura, consistencia y estructura de sus horizontes, constituyen, en conjunto, la *arquitectura del suelo.*

Esta arquitectura, junto con la composición de sus materiales, condicionan los fenómenos físicos que en el suelo se verifican, sin los cuales, ni los químicos ni los biológicos podrían realizarse.

Entre las formas de energía que el suelo recibe en las radiaciones solares, la *luz* tiene sólo un limitado alcance, pues no pasa de la parte más superficial. Los organismos vegetales que viven fuera de su alcance no pueden efectuar la función clorofílica, que permite la síntesis de los hidratos de carbono. Las algas, por su naturaleza, están capacitadas para esta función,

pero, de las que pueblan el suelo, tan sólo las que habitan en la superficie pueden realizarla.

El *calor* del suelo procede principalmente de la radiación solar; aunque las combustiones químicas y bioquímicas que en él se realizan produzcan también su efecto térmico. A su vez los fenómenos biológicos que se realizan en el suelo, necesitan, como condición, una cierta temperatura. De aquí la necesidad de tomarla en cuenta, para los efectos fitogénicos.

La absorción, conservación y reflexión del calor solar por los suelos, varían principalmente según la composición mecánica, el color y el contenido ácueo de los mismos.

El poder de absorción del suelo para los rayos caloríficos se calcula por la siguiente fórmula:

$$\frac{(\theta - t) \times 100}{T - t}$$

en la cual:

- θ es la temperatura de la superficie del suelo, al sol.
- t la temperatura del suelo a la sombra (que se toma hundiendo horizontalmente un termómetro a un centímetro de profundidad).
- T la temperatura que da un actinómetro (termómetro de bola negra).

Los suelos de textura más suelta son los que se calientan y enfrían más pronto. En este caso se encuentran los arenosos. Los turbosos son los que más difícilmente absorben el calor. Según los estudios de Wolny, los suelos más compactos o asentados son los que adquieren más altas temperaturas durante la mayor fuerza de la irradiación solar. Pero en el mínimum de esta irradiación, la temperatura varía poco en las diferentes texturas o en todo caso se hallan más fríos los más compactos. En armonía con esto último, cuanto más asentado es el suelo, mayores son sus oscilaciones de temperatura.

El agua es peor conductor del calor que la tierra. Cuanta mayor es la humedad de la tierra, mayor es por consiguiente su resistencia a calentarse o enfriarse. La tierra seca se calienta así más que la húmeda; y por lo tanto su estado térmico se distancia mucho más del del aire que el de la tierra húmeda. Según las investigaciones de Masure, la temperatura del suelo puede exceder durante el día en 15 grados (por término me-

dio 10) a la del aire, en los suelos secos; en 5 grados (término medio 4) en los semisaturados; y sólo en 1,5 grados en los saturados.

En verano el suelo superficial se mantiene más cálido que el aire inmediato durante el día; durante la noche la diferencia se reduce a poco, en más o en menos. En invierno la mayor temperatura del suelo sólo se mantiene en las horas medias del día; pero la diferencia suele ser suficiente para que la media diurna resulte mayor en el suelo que en el aire. De modo que la media anual del suelo superficial resulta marcadamente superior a la del aire.

Tanto la temperatura media del suelo como sus oscilaciones, disminuyen rápidamente con la profundidad, hasta llegar a un nivel de temperatura estable. Rübel, en un prado de *Carex curvula* de las inmediaciones del Hospicio del Bermina, observó las oscilaciones anuales de temperatura de 30 en 30 centímetros entre la superficie y la profundidad de 1,20 metros, y encontró que eran respectivamente, de 48,5, 17,7, 13,6, 11,2 y 10,1.

Las determinaciones geotérmicas hechas en Italia ofrecen para nosotros especial interés por las latitudes mediterráneas a que se refieren. Angelis d'Ossat expuso en la reunión internacional de Roma, de 1924, los resultados de las realizadas de 1921 a 1924 en Perugia (Italia Central) y su comparación con los obtenidos en otras estaciones de la Italia del Norte y del Sur (1), y de ese trabajo tomamos las cifras siguientes de nuestros cuadros XVI y XVII.

CUADRO XVI

LOCALIDADES	TEMPERATURA MEDIA ANUAL A LA PROFUNDIDAD DE			
	1 metro	2 metros	3 metros	4 metros
Pavía. . . .	12,86°	13,24°	13,42°	—
Perugia. . .	14,44	13,71	13,65	13,69
Lecce. . . .	16,23	16,26	16,34	16,10

(1) *Temperatura dell'aria e del suolo a Perugia*. Actes de la IV Conf. Int. de Pédologie (1924), Roma, vol. I (1926), págs. 249-66.

CUADRO XVII

Distribución anual de la temperatura del suelo en Perugia

PERÍODOS	TEMPERATURA MEDIA A			
	1 metro	2 metros	3 metros	4 metros
Mayo a Octubre. . .	18,82°	15,72°	14,54°	14,42°
Año. . . .	14,44°	13,71°	13,65°	13,69°
Noviembre a Abril. .	10,59°	11,86°	12,86°	13,03°

En estos dos cuadros se aprecian las principales características de la distribución de las temperaturas en la profundidad. Con el aumento de ésta se atenúan las influencias climáticas de la latitud, las oscilaciones anuales y la diferencia de régimen entre la temperatura del suelo y la del aire. Según el autor citado, en las latitudes de que se trata, a un metro de profundidad no llegó nunca el termómetro a cero; la temperatura mínima registrada en Perugia resultó hasta entonces de 8 grados. Y la máxima (22,7° para el mismo punto) dista mucho de llegar a los excesos registrados en la atmosférica. Así el édafon y los órganos subterráneos de las plantas superiores, viven en condiciones climáticas muy diferentes que los órganos aéreos de estas últimas. De aquí que, acostumbrados en él a menores extremos, resulten más exigentes en calor para el medio edáfico que para el aéreo. En las altas latitudes, donde la temperatura del suelo baja mucho más que en el Mediterráneo, ésta es una de las causas por las cuales un suelo haya podido calificarse de fisiológicamente seco, aunque tenga abundancia material de agua, y que ponen un límite a determinados tipos de vegetación.

El *color* del suelo, que influye en la absorción o reflexión de las radiaciones térmicas, es un carácter físico, pero dependiente de la composición química de aquél. De modo que también ésta influye por este medio (aparte de otros) en la térmica edáfica.

En los Estados Unidos se ha llegado a una técnica muy precisa para apreciar el color del suelo, técnica de que en algunos países parece no tenerse ni noticia. El color se aprecia en deter-

minado estado de humedad y según la proporción de los componentes; de modo que puede expresarse en cifras. Se ha demostrado que todos los colores naturales de suelos se pueden componer con cuatro tonos determinados; uno rojo, otro amarillo, blanco y negro, variando sólo la proporción de cada uno. A estos tonos debe pues también referirse, principalmente, la explicación del color.

El negro se debe generalmente a la proporción de humus. Pero tampoco debe juzgarse de ésta sólo por el color; pues puede estar más o menos enmascarado, como ocurre en muchos suelos rojos. El color negro puede también provenir del carbonato sódico, en el caso especial de esta variedad de suelo alcalino. Y, en algunos casos, aunque raros, de elevadas dosis de grafito u otro mineral carbonoso, de magnetita o de bióxido de manganeso.

El rojo y el amarillo se deben generalmente al óxido de hierro, según sus proporciones; pero cuando las tierras de esos tonos proceden de rocas cristalinas, pueden también deberlos a la detritificación de otros minerales, como la hornblenda. En los países tropicales las tierras rojas lateríticas y sublateríticas se forman sobre substratos graníticos y gneísicos. En los climas subtropicales son muy frecuentes y típicas las tierras rojas resultantes de la descomposición de calizas, que, en los asomos de roca viva, aparecen de tonos claros y más bien blanquecinos. En este caso el cambio de color es consecuencia del proceso edáfico; no sólo porque la caliza haya sido más o menos lavada, sino por la forma de peptización del óxido férrico.

El tono amarillo puede deberse también al azufre. Esta es la causa del tono abayado, claro, que se observa en algunos suelos yesosos.

Los tonos blancos se deben generalmente al yeso, a la caliza y, naturalmente, a las eflorescencias salinas de cloruros y sulfatos solubles. La arena cuarzosa lavada contribuye también a dar tonalidades claras. En los podsoles es la que les da el tono blanco de ceniza que les es propio. En cambio las arenas estucadas por los coloides, en las cuales suelen figurar el óxido de hierro y el humus, producen tonalidades rubias, como las de la llanura arenoso-silícea de Madrid.

También hay en el suelo elementos verdes como la glauconia, el sulfato férrico y otros minerales; y azules, como la vi-

vianita; pero suelen corresponder a detalles que no influyen mayormente en el tono general.

De la mezcla, en diferentes proporciones, de los elementos citados, resultan los diferentes matices del color pardo, llamado también, por antonomasia, «color de tierra». El color pardo indica pues, por sí, complejidad de composición, y es característico especialmente de las tierras francas y ricas, como las de los aluviones saneados. Sus diversos matices suelen ser con frecuencia expresivos: el obscuro suele deberse a la riqueza en humus; el ocráceo más o menos caliente acusa con frecuencia un nivel de acumulación de coloides; el tono claro puede indicar, según los casos, horizonte lavado, o proporción mayor de arena, o presencia de caliza.

En cuanto a las relaciones del color con los caracteres térmicos, se rigen por las leyes generales de la física: los suelos claros reflejan más calor y absorben menos; los obscuros absorben más, cuando causas de otro orden no contrarrestan, en ocasiones con creces, el fenómeno; así los suelos turbosos son fríos por la naturaleza de su composición. En cambio los suelos rojos son eminentemente calientes, pues en ellos todo contribuye a este efecto. Ésto los condiciona favorablemente para el cultivo de ciertas especies termófilas, como la vid.

El *aire* y el *agua* son dos elementos de máxima importancia en el suelo, y cuyo estudio respectivo, a pesar de la distinta significación de cada uno, no puede separarse del todo. Ambos se relacionan directamente con la textura del suelo, y la determinación del aire edáfico es correlativa de las determinaciones del agua. Los poros u oquedades del suelo no ocupados por el agua, lo están por el aire, y éste es desalojado en la proporción volumétrica correspondiente cuando el contenido de agua aumenta, y viceversa. Basta fijarse en este hecho, para comprender que, desde el punto de vista de la vegetación, en las proporciones de estos dos elementos debe haber un óptimo, que en modo alguno puede ser, en la mayoría de los casos, un máximo para ninguno de ellos. (El único caso excepcional es del máximo para el agua en la vegetación propia de suelos anegados o encharcados.) Poco es preciso reflexionar para comprender también que este óptimo será distinto para cada tipo o modalidad de suelo y de vegetación. Por fin, al alejarnos de este

máximo en un sentido o en otro, llegaremos a condiciones límites para la existencia de la vegetación, las cuales variarán igualmente por ambos conceptos.

De estas consideraciones se desprenden:

1. La gran importancia que tienen los caracteres mecánicos del suelo, pues condicionan la capacidad de éste para el aire y el agua.

2. El gran interés de determinar, con la mayor exactitud posible, la respectiva cuantía de estos dos elementos en el suelo.

Ya hemos visto que el aire es necesario para la respiración de las partes subterráneas de las plantas superiores y para la vida microbiana, aunque algunos de sus representantes sean anaerobios. De este consumo de oxígeno aéreo por los varios elementos vivos del suelo, resulta que el aire edáfico es más pobre en oxígeno y más rico en anhídrido carbónico que el que se respira en la atmósfera libre. El oxígeno es igualmente necesario para la descomposición de la materia orgánica, y elaboración del humus, y la ulterior de los compuestos nitrados minerales, y esto lo mismo en la parte química que en la biológica del proceso, como hemos visto en el capítulo V.

La escasez de oxígeno aéreo traerá pues, como consecuencia, lentitud, hasta la anulación, del proceso humificante; disminución consiguiente, hasta anularse, de la formación de nitratos; y atenuación de la actividad respiratoria que acarreará la de toda la actividad vital. Estos inconvenientes se reúnen en los suelos anegados o demasiado húmedos, en que las plantas propias de medios aireados se asfixian. Son también condiciones desfavorables para la aereación, la textura compacta y consiguiente consistencia tenaz, y la alta proporción de arcilla, causa de esa contextura, máxime si el suelo es además pobre en humus, que atenúa el inconveniente. Uno de los motivos de las labores es la necesidad de airear el suelo. Mullir el suelo equivaldrá a activar en él la vida microbiana, el proceso de humificación y nitrificación y el vigor de la vegetación toda. Con igual motivo y mayor necesidad son necesarias las labores de aereación en los suelos de cultivos encharcados como el del arroz.

De los elementos del aire, el nitrógeno es también utilizado en el suelo por los organismos que hemos visto (en el capítulo V) que lo fijan y lo facilitan a las plantas superiores. Esta es una razón más de la necesidad de aire en el suelo. Pero la cantidad

de nitrógeno en el aire es siempre superior a la que necesita utilizarse.

La necesidad del agua no necesita ponderarse, pues sin ella no habría soluciones, ni fenómenos coloides, ni absorción por las plantas.

El agua se encuentra en el suelo en las siguientes formas:

1.ª *Agua química:* en los minerales del suelo como agua de cristalización o de hidratación.

2.ª *Agua edáfica:*

a) *Agua en estado de vapor libre.*
b) *Agua higroscópica.*
c) *Agua capilar.*
d) *Agua gravitante.*

Del *agua química,* y de la parte que representa en la *pérdida por ignición,* ya hemos hablado en el lugar correspondiente.

En la física del suelo se trata del agua edáfica propiamente dicha.

El agua en estado de *vapor libre* es la que se halla en la superficie e intersticios libres del suelo, mezclada con el aire.

Agua higroscópica es la que, procedente de esa humedad atmosférica, es retenida por las partículas del suelo, sin perderla a las temperaturas ordinarias. Para eliminarla es necesario calentar la tierra en una estufa, durante bastante tiempo, a la temperatura de 105 a 110 grados centígrados. La efectividad de la eliminación se reconoce en que la muestra ya no disminuye de peso, aunque se vuelva a poner en la estufa a la citada temperatura. Esta agua es la que representan las cifras de humedad en los análisis químicos de las muestras «secas al aire». La determinación de su cuantía exige las siguientes precauciones:

Secar previamente la muestra al aire.

Secar en la estufa la cápsula en que se ha de pesar.

Poner esta cápsula en un secadero, para que se seque y tome la temperatura de la habitación donde esté la balanza.

Pesarla.

Pesar en ella la tierra seca al aire, a la misma temperatura, lo que nos permitirá deducir el peso neto de la muestra con su humedad higroscópica.

Poner la cápsula con la muestra en la estufa a la temperatura de 105 a 110 grados, manteniéndola el tiempo que la expe-

riencia nos haya indicado como prudencial (varias horas según la cantidad de tierra).

Llevarla al secadero a enfriar, como antes la cápsula.

Pesarla.

Volverla a la estufa y volverla a pesar.

Repetir la operación hasta no encontrar diferencia sensible con la última pesada.

Deducir, por diferencia, la humedad higroscópica perdida (1).

El agua higroscópica se encuentra en proporción generalmente pequeña (unas pocas unidades por ciento), y varía con la humedad y temperatura del aire.

Agua capilar es la que, llegada al suelo en estado líquido, se mantiene físicamente adherida a la superficie de las partículas sólidas, sin desprenderse por gravitación. Esta agua, llamada también vulgarmente de imbibición, reviste cada partícula de una película finísima, y, en virtud de la misma adhesión, rellena los poros de anchura inferior a un determinado límite (poros capilares). En virtud de las leyes especiales de este fenómeno físico, el agua capilar tiende a difundirse en todas direcciones por la superficie de las partículas y red capilar del suelo. No puede ser arrastrada por la gravedad (porque esta fuerza es superada por la de adhesión); pero puede desprenderse por evaporación o ser absorbida (por lo menos hasta cierto límite) por las plantas.

Cuando dejamos secar al aire una muestra de tierra, el agua que ésta pierde es la capilar, no la higroscópica. Calificamos la tierra de «seca al aire» cuando, extendida en una plancha y expuesta a la evaporación a la temperatura del laboratorio, llega al límite de la pérdida de peso. En los libros se suele calcular en tres días el tiempo necesario; pero claro es que varía según la humedad originaria de la tierra y la temperatura de la estancia.

Agua gravitante o de filtración es la que, no retenida por

(1) Hemos querido hacer esta enumeración, tratándose de una de las operaciones de laboratorio más sencillas, para dar a entender cuán grande es, en general, el número de detalles y precauciones que exigen las manipulaciones de física y química del suelo, y por lo tanto la naturaleza de la labor que representan. La noticia de sus dificultades no es menos necesaria, para la divulgación cultural, que la invitación a realizar algunas de aquéllas. Lo demuestran casos como el de personas, cultas en otras materias, que, habiendo traído a un laboratorio varias muestras de tierras para que se hiciese su análisis químico y mecánico, volvieron *¡al día siguiente!* a saber los resultados.

las partículas del suelo, obedece sólo a las leyes de la gravedad. Esta agua tiende así a buscar su nivel freático, y su permanencia en niveles superiores del suelo es fugaz.

Las proporciones efectivas, tanto del aire como del agua, en sus diversas formas de presencia edáfica, varían en un mismo suelo según las circunstancias; pero cada suelo tiene, como carácter, una determinada capacidad para contener aire, agua higroscópica o agua capilar, y ser atravesado por la gravitante. Habrá pues que determinar, en cada suelo: la capacidad aérea, la capacidad higroscópica, la capacidad hídrica y la permeabilidad. Pero estos conceptos, fáciles de comprender en abstracto, necesitan ser detalladamente precisados, para poderse concretar en una expresión numérica.

Ante todo esta expresión podrá variar según que pretendamos relacionarla sólo con la composición (química y mecánica) del suelo, o además con su textura y estructura. En el primer caso emplearemos suelos manipulados en el laboratorio, y manipulados en forma de reducirlos a igualdad de condiciones aparte la composición propia de cada uno: v. g., tamizados a 2 milímetros. En el segundo tendremos que emplear suelos naturales.

He aquí ahora la forma en que se precisa la definición de los conceptos citados.

La capacidad higroscópica o *coeficiente de higroscopicidad* fué ya definida por Hilgard como: el total de vapor acuoso absorbido por el suelo a la temperatura de 15 grados centígrados. Se mide sometiendo una pequeña muestra de tierra, seca a 105 o 110 grados, bien extendida, a una atmósfera saturada de humedad; el máximo aumento de peso que así experimente, será, expresado en porcentaje del peso seco, el coeficiente buscado.

El límite de capacidad del suelo respecto del agua capilar es llamado por Kopecky, *capacidad hídrica absoluta,* definiéndola como el volumen de agua retenido en el suelo a las veinticuatro horas del momento de saturación.

El procedimiento de determinación para suelos naturales consiste en tomar la muestra mediante un cilindro de metal, de capacidad determinada, que se hunde verticalmente en el suelo, y separa la muestra sin alterar la textura (la estructura, sobre todo cuando se manifiesta en agregados de grandes dimensiones, no es tan fácil conservarla). Kopecky ha perfeccionado el sistema utilizando una combinación de dos cilindros. Extraída

así la muestra, se satura de agua, introduciendo el cilindro en un baño de agua poco profundo. Luego viene el espacio de veinticuatro horas, para que se elimine toda el agua gravitante. Obtenido esto, la proporción de agua que conserve la tierra corresponderá al concepto definido por Kopecky. Se toma una porción de ella y se pesa inmediatamente. Luego se seca hasta el peso invariable. La diferencia entre un peso y otro será el agua capilar. Su proporción se expresa en porcentaje del peso seco.

No todos los investigadores proceden exactamente igual. Burger, en Suiza, realizó sus trabajos dejando escurrir el agua, después de saturada la tierra, solamente una hora; y en la reunión internacional de Roma defendió su criterio, juzgando excesivo el tiempo de veinticuatro horas prescrito por Kopecky. A juicio de Burger no debiera dejarse escurrir más de una hora en los países cálidos y subtropicales, ni más de dos en los templado-fríos. En cuanto a la operación de secar para apreciar la pérdida de peso, lo más exacto es aplicarla, no a una porción del contenido del cilindro, sino a la totalidad, si se ha de tener en cuenta la textura, que puede no hallarse bien expresada en aquella fracción.

Cuando se trata de tierras manipuladas, se puede proceder del siguiente modo. La muestra tamizada se pone sobre un filtro en un embudo. En el cuello de éste se introduce una mecha del mismo papel de filtro que toque el ápice del cono. Se pone el embudo sobre un frasco con agua, de modo que ésta toque la mecha pero no el cono de papel. El agua ascenderá por capilaridad y se difundirá por la masa de tierra: la difusión se habrá completado cuando aparezca saturada toda la superficie. Desde entonces el agua se evaporará por la superficie; pero la tierra continuará saturada por la que asciende por la mecha. Se quita el embudo del agua; se seca el exceso de agua superficial con papel de filtro o secante; se abre el filtro que contiene la tierra húmeda; y se vierte ésta sobre una cápsula. No es necesario recoger sino una parte de la tierra, la que se desprenda fácilmente; pues aquí la muestra es uniforme. Se pesa; se seca; y se vuelve a pesar. La diferencia será el agua capilar embebida. No hay necesidad de dejar escurrir, pues el agua sólo se ha difundido en la tierra por capilaridad.

La expresión de *permeabilidad* ha sido fijada por Kopecky definiéndola como la cantidad de agua, en centímetros cúbicos,

que atraviesa una capa de suelo de 10 centímetros de espesor con sección de 10 centímetros cuadrados, cuando la tierra se encuentra saturada de agua desde veinticuatro horas. La determinación se hace también utilizando el cilindro. Este se usa de dimensiones apropiadas para esa medida: Kopecky los ha empleado, v. g., de 50,5 milímetros de diámetro, lo que da una superficie de base de 20 centímetros cuadrados. Igualmente puede emplearse cualquier otro múltiplo de 10. Spirhanzl, discípulo de Kopecky, es inventor de un aparato que facilita y precisa la apreciación del agua filtrada a través del cilindro.

Por fin, la *capacidad aérea* ha sido concretada, por el mismo Kopecky, como el espacio que queda disponible para el aire, en los poros del suelo, cuando la capacidad hídrica de éste se halla saturada. Según esto, la capacidad aérea será expresión de la porosidad no capilar.

Como, por otra parte, la capacidad hídrica absoluta es expresión de la porosidad capilar, llamando P_c a ésta, P_a a la no capilar, y P_t a la porosidad total del suelo, ésta estará expresada por la fórmula:

$$Pt = Pc + Pa$$

En las determinaciones relativas al agua es fácil pasar de las cifras gravimétricas a las volumétricas, sabiendo que un centímetro cúbico de agua destilada a 4 grados, pesa un gramo, y haciendo la necesaria corrección de temperatura.

Llamando ahora V_t al volumen bruto del suelo (partículas sólidas + poros), y V_n al volumen neto, o sea el exclusivo de las partículas sólidas, tendremos que:

$$Vt = Vn + Pt = Vn + Pc + Pa$$

El volumen total nos lo da con cierta aproximación el cilindro en el estado de humedad en que tomamos la muestra. Con más precisión podemos determinar el volumen neto, V_n, con un picnómetro, por el agua que desaloja la suma de las partículas componentes. Esta determinación, sin embargo, no alcanza la exactitud que sería de desear, pues el agua no siempre desaloja del todo las burbujas de aire. Burger ha reconocido en esta determinación errores del 5 al 25 por ciento, y, para lograr mayor exactitud, substituyó el agua fría por caliente. Como quiera que sea, determinado el volumen neto V_n, el valor de P_a, que co-

rresponde a la capacidad aérea, podrá ser deducido, en la fórmula que precede, por diferencia.

Clements ha introducido en la ciencia los conceptos de *holardía, cresardía* y *ecardía,* que pueden referirse al suelo o a las plantas, y varían para cada suelo y cada especie vegetal. Los conceptos antes expuestos permiten apreciar las proporciones de agua y aire en el suelo desde un punto de vista absoluto. Los de Clements permiten apreciar la proporción de agua desde el punto de vista de la vegetación, que es precisamente aquel por el cual el suelo más nos interesa.

La holardía es el agua total contenida en el suelo; la cresardía, la que el suelo puede ceder a la vegetación, que la absorbe para su alimento; la ecardía, la que el suelo retiene sin cederla a la vegetación. Cuando la proporción de agua se reduce en un suelo a la ecardía, la vegetación perece. Como cada planta tiene su exigencia de agua, y esta exigencia varía muchísimo de una a otra especie, el agostamiento de las plantas comienza con holardía muy diferente para cada una, y para una misma especie variará ese contenido límite de agua según el suelo. Como carácter de cada suelo se ha tratado de apreciar la ecardía absoluta o *coeficiente de ecardía.* Para Alway este límite de agua utilizable por la vegetación, que llamamos *coeficiente de ecardía,* correspondería al coeficiente higrométrico. Pero Briggs y Shanz han calculado que el coeficiente higroscópico representa sólo, por término medio, el 0,68 de nuestro coeficiente de ecardía, siendo así éste igual al coeficiente higroscópico multiplicado por 1,47. Es decir que el agua que el suelo retiene sin ceder nunca a la vegetación, es toda la higroscópica más una parte de la capilar. Podemos también considerar un *coeficiente de cresardía,* definiéndolo como la diferencia entre la *capacidad hídrica absoluta* y el *coeficiente de ecardía.*

La holardía óptima, sobre todo para la vegetación cultivada, se hace fluctuar alrededor del 50 por ciento de la cantidad de saturación, y más bien por defecto.

Kopecky la deduce de las cifras de capacidad aérea óptima que su experiencia le ha dado a conocer en Checoeslovaquia, y que sería, v. g.:

Del 5 al 10 por ciento para el prado.
Del 10 al 15 por ciento para el trigo y la avena.
Del 15 al 20 por ciento para la cebada y la remolacha.

Según esto, la holardía óptima para el país y casos citados, se expresaría, llamando como antes P_t a la porosidad total, por:

$$Pt - \begin{cases} 5\ \% \\ 10\ \% \end{cases}$$ para el prado.

$$Pt - \begin{cases} 10\ \% \\ 15\ \% \end{cases}$$ para el trigo y avena.

$$Pt - \begin{cases} 15\ \% \\ 20\ \% \end{cases}$$ para la cebada y remolacha (1).

La capacidad hídrica adquiere sus mayores porporciones en los suelos ricos en humus. La turba puede retener hasta cinco veces su peso en agua. Sigue siendo grande aunque menor en los arcillosos. Y se reduce al mínimo en los arenosos y sueltos.

Wiegner ha compuesto, sobre la relación entre las propiedades físico-químicas de los suelos y su composición mecánica, un

(1) Sobre el estado de los problemas del aire y agua en el suelo, pueden consultarse los siguientes trabajos de las dos últimas reuniones internacionales de Roma (1924) y Wáshington (1927), en cuyas respectivas actas figuran:

H. Burger: *Die physikalische Bodenuntersuchung, insbesondere die Methoden zur Bestimmung der Luftkapazität* (Roma).

H. Lundegardh: *Une nouvelle méthode pour déterminer l'aération des sols* (Roma).

G. Görz: *Ueber die Messung des Wassergehaltes der Böden vermittels eines neuen elektrometrischen Feldmess-Instruments* (Roma).

J. Spirhazl: *Neuer Apparat zur Bestimmung der Wasser-Durchlässigkeit des Bodens* (Roma).

R. O. E. Davis and J. R. Adams: *Methods for physical examination of soils* (Wáshington).

A. F. Lebedeff: *The movement of ground and soil waters* (Wáshington). — *Methods of determining the maximum molecular moisture holding capacity of soils* (Wáshington).

J. Kopecky: *Investigation of the relations of water to soil* (Wáshington).

B. A. Keen: *The limited rôle of capillarity in supplying water to plant roots* (Wáshington).

F. J. Veihmeyer, J. Oserkowsky and K. B. Tester: *Some factors affecting the moisture equivalent of soils* (Wáshington).

E. M. Crowther: *Some physical properties of heavy alkaline soils under irrigation (in the Sudan Gezira)* (Wáshington).

H. E. Middleton: *Adsorption of water vapor by soils and soil colloids* (Wáshington).

L. F. Smolik: *Influence of air-drying of soils on their content of fine particles* (Wáshington).

cuadro que nos permitimos modificar ligeramente para transcribirlo aquí (XVIII).

CUADRO XVIII

Relación entre las propiedades del suelo y su composición mecánica

ALTA DISPERSIDAD Suelos arcillosos	Disminución de la dispersidad	BAJA DISPERSIDAD Suelos arenosos
Capacidad hídrica elevada.		Capacidad hídrica escasa.
Permeabilidad mala.		Permeabilidad buena.
Capacidad aérea escasa.		Capacidad aérea elevada.
Consistencia elevada.		Consistencia escasa.
Propiedades químicas buenas		Propiedades químicas malas.
Ricos en alimentos.		Pobres en alimentos.
Resistentes al lavado.		Expuestos al lavado.
Difíciles de labrar.		Fáciles de labrar.
Suelos indicados para prados y pastos en los climas mesofíticos.	Suelos agrícolas por excelencia en los climas mesofíticos.	Suelos indicados como forestales en los climas mesofíticos.

La comparación de los suelos típicos del monte, el prado y el agro (suelo cultivado) en los climas mesofíticos y submesofíticos, resulta muy instructiva al respecto.

Los suelos de bosque y de prado (natural) tienen una arquitectura estable: la del agro es inestable. En el bosque la capacidad aérea y la penetrabilidad son máximas (lo que no siempre equivale a óptimas). En el prado son mucho menores. En el agro están sujetas a grandes oscilaciones: inmediatamente después de las labores la capacidad aérea y la penetrabilidad resultan algo mayores que en el prado; pero después de las lluvias se hacen menores que en éste; y nunca suelen llegar a las proporciones que en el bosque. Para igual capacidad aérea, la permea-

bilidad es mayor cuando los poros mayores forman un sistema de canales continuos; y esto es lo que suele ocurrir en el suelo forestal. Y ocurre todo lo contrario cuando la porosidad mayor se halla dispersa e interceptada por redes capilares, lo que es característico del suelo agrícola (1). La arquitectura del suelo forestal se perturba con las claras y descuajes, y acaba por destruirse con la desforestación y el roturado. Un suelo forestal así destruído puede a veces necesitar un siglo o más para reconstruirse (2). En Hungría parece demostrado (Treitz es de esta opinión) que el actual chernosiem procede, por transformación, de un antiguo suelo forestal, después de la tala del bosque y adaptación al cultivo; y se ha calculado que esta transformación del suelo forestal en suelo estepario (3) ha necesitado, en el clima mesofítico de Hungría, unos 500 años.

Esta transformación ha podido realizarse, en provecho de la agricultura, porque los suelos en cuestión eran llanos y de profundidad suficiente. En las condiciones opuestas, de un clima xerofítico, superficies pendientes y profundidad escasa, el resultado de la transformación habría sido crear un suelo más o menos esquelético, que es lo que ha ocurrido en enormes extensiones de la Región Mediterránea.

Los suelos profundos tienen, por simple razón geométrica, para igual área, una mayor masa de tierra, y por lo tanto una mayor suma de superficie capilar; y por esto pueden almacenar una proporción mucho mayor de agua por unidad de área, que los someros. En iguales condiciones de clima, la vegetación de los suelos profundos dispondrá pues, por cada metro cuadrado, de mucha mayor cresardía o agua utilizable, que en los someros. La diferencia puede ser tal, que signifique la posibilidad o imposibilidad del cultivo. Por eso en los países secos, los suelos someros no son apropiados para el cultivo, y, a la larga y para el interés colectivo permanente, suele resultar ruinosa su desforestación. Mientras que en clima suficientemente húmedo, suelos de una profundidad mucho menor pueden justificar económicamente, y dentro de ciertos límites, la desforestación para ser explotados como prado o en cultivo de gradas, como ocurre

(1) G. WIEGNER: *Boden und Bodenbildung.* Dresde y Leipzig, 1926 (4.ª edición).
(2) H. BURGER: loc. cit.
(3) Este calificativo hace referencia a la «estepa de gramíneas» del tipo de Ukrania, donde el chernosiem es el suelo natural.

en España en parte de la zona cantábrica y pirenaica y aun en la subpirenaica.

Análogamente, para igual cantidad de lluvia caída, los suelos llanos pueden absorber y utilizar mayor proporción de agua por unidad de superficie, que los pendientes; pues en éstos se pierde mayor proporción en forma coluvial.

Los efectos del clima resultan así modificados por la arquitectura del suelo. En una misma localidad, una misma cantidad y distribución de lluvia, para un mismo cultivo, puede resultar suficiente en un suelo horizontal y profundo, y absolutamente insuficiente en otro inclinado y somero; y análogamente por sus diferencias de textura y composición mecánica.

En un suelo llano y profundo el hombre puede contribuir, con las labores, enmiendas y abonos, a mejorar las condiciones físicas y contrarrestar con ellas, hasta cierto límite, las climáticas desfavorables. En el suelo pendiente y somero su actuación no encuentra suficiente campo. Las labores profundas aumentan la penetrabilidad, la aereación y la capacidad hídrica. En estas condiciones la textura de la superficie adquiere una especial significación: si su porosidad ofrece una red capilar continua y tupida, facilitará la difusión ascensional del agua profunda y su pérdida por evaporación; mientras que, si su porosidad es amplia, de suerte que la red capilar se halle interrumpida por oquedades mayores, o, en otros términos, si la capa superficial tiene una buena capacidad aérea, evitará en mayor o menor grado esa pérdida por evaporación. Esta es la causa de que, en la práctica del *dry farming*, se recomiende el gradeo frecuente.

CAPÍTULO VIII

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

Ya sabemos que un suelo, en el sentido científico riguroso de la palabra, es una entidad natural compuesta de diferentes horizontes, genéticamente relacionados entre sí, y diferenciados por su respectiva composición, arquitectura y actividad.

La caracterización de los suelos por su estratigrafía se inició en Rusia. Allí la distribución de los caracteres estratigráficos guarda un paralelismo tan sencillo con la de los climas y vegetación, y la de ambas cosas con la latitud y la continentalidad, que, tomando por base la edafología rusa, se creyó posible generalizar a todo el globo este sencillo zonalismo. En muchos de los trabajos edafológicos de la última etapa de esta ciencia, se repite como fundamental la idea preconcebida de que, a igualdad de clima corresponderá igualdad de vegetación y de suelos. Así, a la clasificación de suelos se aplicó, en gran parte, una terminología relativa al clima y a la vegetación: se habló pues de suelos secos y áridos, tropicales y de la zona templada, de suelos forestales, esteparios y desérticos, etc. Independientemente de Rusia, se iniciaba también en los Estados Unidos la tipología edafológica fundada precisamente en la relación de clima y suelo. Hilgard hizo resaltar en forma sinóptica, utilizando gran riqueza de datos, la diferencia entre los dos grupos fundamentales de suelos áridos y suelos húmedos.

Pero, al mismo tiempo que la ciencia del suelo se desarrollaba en su forma moderna, progresaba aceleradamente, llevando al mayor rigor sus métodos, la ciencia de la vegetación o Geobotánica. Esta, llevando la delantera, puso de relieve que no había derecho a esa afirmación previa de paralelismo entre clima, vegetación y suelo. Sin duda los tres órdenes de fenómenos se hallan relacionados entre sí, y es indispensable, en el estudio

de cada uno, tomar en cuenta los otros. Pero en cada uno intervienen factores muy diversos, que hacen el fenómeno mucho más complejo. Análogamente a lo que ocurrió después en Edafología, también en Geobotánica se clasificó la vegetación por la naturaleza del clima o suelo en que se desarrollaba. Hoy se ha comprendido el inconveniente de prejuzgar relaciones y caracterizar por esta hipótesis los hechos. La vegetación se caracteriza por sus propios componentes y su propia evolución; y los suelos también.

Los componentes del suelo ya sabemos que son los horizontes, relacionados entre sí genéticamente. En cuanto a la evolución, hay que distinguir *etapas* y *fases*. Las *etapas* son estados sucesivos. Las *fases* son modalidades sin carácter sucesivo, debidas a circunstancias especiales en la correspondiente etapa.

Así como la vegetación, abandonada a sí misma sigue una marcha evolutiva, y llega, para cada medio, a un máximo biológico, al que Clements ha dado el nombre de *clímax*, también los suelos llegan, según los factores y condiciones de su generación, a un máximo u óptimo de desarrollo, que viene a ser como su clímax. No conviene sin embargo extremar el paralelismo, porque se trata de dos órdenes distintos de fenómenos. De aquí que convenga emplear nomenclatura distinta para cada uno. En la vegetación las modalidades que preceden a la clímax se llaman priseriales. Las posteriores a ella, subseriales. En los suelos el máximo evolutivo se llama *madurez;* las etapas anteriores a él, *prematuras;* las posteriores, *póstumas*. La madurez en un suelo no equivale exactamente a la clímax en vegetación. La subserie vegetal no es precisamente una degeneración de la clímax, sino una nueva evolución hacia la misma clímax cuando ésta ha sido destruída por causas accidentales; mientras que un suelo póstumo puede ser degenerativo. Lo más importante es que las etapas de la evolución del suelo no coinciden necesariamente con las de la evolución del paisaje vegetal. Este puede muy bien ser subserial sobre un suelo maduro, clímax en un suelo más o menos póstumo o prematuro. En la montaña, por ejemplo, es muy frecuente que el bosque clímax crezca en un suelo prematuro. De aquí la necesidad de una nomenclatura independiente.

Las etapas y fases de los suelos varían según la evolución y vicisitudes de cada uno. Pero algunas se presentan con especial

frecuencia afectando por igual a tipos diferentes. El caso más general es que el suelo proceda de una roca (viva o detrítica). La roca misma, antes de que empiece a iniciarse el suelo, constituye una pre-etapa: el esqueleto. La etapa inicial, en que todavía la roca no transformada predomina, se califica también de *esquelética.* Y la etapa siguiente o de transición, de *subesquelética,* sin que los valores de estas palabras se puedan precisar más, pues la evolución es continua. En cambio, cuando el carácter esquelético o subesquelético no responde a etapa inicial sino que es efecto de la destrucción, natural o humana, de un suelo más adelantado en su proceso, el degenerado en tales condiciones se debe calificar de *esqueletizado* o *subesqueletizado,* y así se indicará que su etapa es póstuma y se le diferenciará del suelo prematuro. Muchas de las extensiones desforestadas y rocosas (y también yesosas) de España y otros países mediterráneos, son sencillamente suelos más o menos esqueletizados. Una modalidad póstuma también frecuente es la de los suelos *decapitados:* el horizonte superior, o además mayor o menor espesor de los siguientes, ha sido barrido por la erosión natural o antropógena, y el que asoma a la superficie no es precisamente el superior normal del tipo. El calificativo de *reincipiente* se aplica a los suelos que, según tienden a madurar, van siendo más o menos destruídos, y así se encuentran siempre en una etapa más o menos inicial. Tal es el caso de muchos suelos de montaña, en que la pendiente, la desforestación y el pastoreo originan el derrubio de los materiales propiamente edáficos a medida que se van formando.

Entre las fases de los suelos prematuros es muy frecuente, en los suelos montañosos, la *oropédica.* Hemos dado este nombre (del griego *oros,* montaña) a la del suelo formado sobre un substrato de roca viva, que, dentro de un clima de energías medianas (v. g., templado y moderadamente lluvioso, o seco), ofrece gran resistencia a la desintegración. De este modo el suelo no puede desarrollar toda la estratigrafía propia de su tipo, y se limita a un horizonte único sobre el substrato de roca. Es más frecuente en la montaña; pero igualmente puede encontrarse en el llano. El área de tales substratos tiene también valor de etapa; pero, aunque ésta es con gran frecuencia prematura, también puede ser póstuma. Otra fase, de gran importancia, es la que hemos llamado *agropédica:* la de los suelos

cultivados. Esta es relativamente póstuma. Los suelos cultivados no constituyen un tipo: pueden proceder de distintos tipos, y de diferentes etapas de cada uno; pero dentro de esta variedad coinciden en la naturaleza de la fase. La fase agropédica podrá pues ofrecer distintas modalidades en correlación con tipos diferentes. La importancia utilitaria de la fase es enorme: la antigua Agrología, que ha venido a ser una parte de la actual Edafología, reducía la ciencia del suelo al estudio de sólo esta fase. El doble carácter de modalidad especial y etapa determinada de determinado tipo, obliga a hacer de los suelos agrícolas un estudio doble, a la luz de la clasificación tipológica general y de otra especial para la fase agropédica. Las dos son necesarias. El desprecio de cualquiera de ellas hará el estudio insuficiente.

Las clasificaciones tipológicas que se han hecho de los suelos son numerosas. La exposición y crítica de todas ellas o de las principales sería asunto impropio, por su extensión y naturaleza, de este libro. Podemos ya calificar de antiguas, aunque algunas de ellas daten todavía de pocos años, a las que se fundan en caracteres externos al suelo mismo, v. g., geológicos, climáticos, geobotánicos o geográficos. El convencimiento de que la clasificación, en Edafología como en Zoología o Botánica, ha de fundarse en los caracteres mismos de la entidad clasificada, ha llevado a clasificaciones como las de Stremme y de Marbut, que se hallan ya dentro del criterio científico hoy dominante.

Stremme se fija sobre todo en el número de horizontes y en la acumulación de uno de los productos más importantes de la actividad edáfica: los sesquióxidos, que es como decir el complejo coloide mineral (1). En consecuencia distingue dos grandes categorías de primer orden, que llama suelos ABC y suelos AC. A es la designación del horizonte superior, generalmente un horizonte más o menos humífero. B es la designación de un horizonte situado debajo de A, y en el cual se acumula la suma de sesquióxidos, o mejor dicho de elementos coloides (alúmina, óxido de hierro, sílice soluble) lavados de A. C es la roca madre o substrato.

(1) La clasificación tipológica del prof. H. STREMME informa su obra *Grundzüge der praktischen Bodenkunde* (Berlín, 1926); pero había sido ya expuesta por el autor en trabajos anteriores.

En consecuencia suelos ABC son aquellos en que, bajo el horizonte humífero superficial, se forma un horizonte en que se acumulan los elementos del grupo coloide lavados de A. A este grupo pertenecen el llamado suelo pardo forestal y el podsol. Suelos AC son aquellos en que no aparece como característica la acumulación de sesquióxidos bajo el horizonte superficial, aunque haya otra clase de elementos, v. g., la caliza, que pueden ser más o menos lavados de la superficie y arrastrados a profundidad. Para Stremme la letra B indica sólo la acumulación de sesquióxidos. Figuran entre los suelos AC de Stremme, la rendzina y el chernosiem con sus variados matices.

Marbut se fija también en la acumulación a cierta profundidad de elementos lavados de la superficie, pero no limita su punto de vista a un solo producto, y da a su horizonte B el sentido general de nivel de acumulación, aunque ésta no sea de sesquióxidos. Con esta diferencia de base distingue también dos grandes grupos de primer orden que designa simplemente por los números I y II (1). El grupo I comprende los suelos caracterizados por un desplazamiento de materiales minerales de alta dispersión (arcilla, limo) desde la superficie hacia abajo, del que resultan un horizonte superficial de textura relativamente suelta, y un subsuelo relativamente compacto. El grupo II comprende suelos en que, exista o no ese desplazamiento y acumulación mecánicos de materiales de alta dispersión, al llegar a su madurez o pleno desarrollo, ofrecen en algún horizonte una acumulación de materiales químicos alcalinos o alcalino-térreos, generalmente carbonato de calcio. Cada uno de estos dos grupos se subdivide en subgrupos.

La división de Marbut guarda, en sus categorías generales, un claro paralelismo con la de Stremme; pero está concebida con la mayor amplitud de la realidad que la ha inspirado. Los términos de Stremme acusan el predominio de su preocupación por los suelos de la Europa media y nórdica. Marbut se ha inspirado principalmente en el panorama más completo de los suelos de Norte-América, sin dejar de pensar también en los de otros continentes. Pero, tanto en una como en otra, hay hechos

(1) C. F. MARBUT: *Outline of a scheme for the differentiation of soils into mapping units on a uniform basis for all countries.* Proceedings... of the First Internl. Cong. of Soil Scienc-, Wáshington, 1927. Vol. I (1928), págs. 259-68.

y tipos que quedan fuera del cuadro. Marbut, por ejemplo, después de describir los subgrupos de sus categorías I y II, enumera aparte «suelos con perfiles imperfectamente desarrollados» y los «suelos alcalinos».

Fundados en las mismas enseñanzas de Stremme y Marbut, creemos que se puede seguir avanzando por ese camino y llegar a una clasificación que pueda abarcar todas las modalidades de suelos. Para esto no hay que limitar los puntos de vista. Lo más esencial en el carácter de cada suelo son los productos que especialmente elabora y acumula con su proceso. El número de horizontes es carácter de menos categoría, pues hay casos en que un mismo tipo de suelo puede acumular su producto característico en un horizonte limitado o extenderlo por casi todo el perfil. Tampoco han de quedar fuera del cuadro tipos calificables de «imperfectos» o «mal desarrollados». La falta de desarrollo en un tiempo dado no impide que de momento corresponda a la evolución de un tipo concreto. En la cartografía de suelos es muy general englobar una extensión más o menos grande en la categoría de «suelos de montaña». En realidad los «suelos de montaña», mal desarrollados, no son un tipo, sino un estado o fase (suelo oropédico) que puede corresponder a la evolución de tipos diferentes. Hay que separar pues, como ya lo hemos hecho, el concepto de tipo y sus divisiones por un lado, del de etapas y fases, que son momentos de la evolución de cada tipo. La clasificación general debe hacerse para distinguir los tipos. Luego vendrá el estudiar las etapas y fases de cada uno.

La clasificación a que con este criterio hemos llegado, establece las siguientes series de primer orden:

1. Serie turbosa.
2. Serie sialítica.
3. Serie alítica.
4. Serie caliza.
5. Serie salina.
6. Serie aluvial.

Serie turbosa.—La serie turbosa se caracteriza por la formación y mayor o menor acumulación de humus ácido. Ya hemos indicado en su lugar lo que es este humus y los fenómenos a que da lugar. Este humus está sin saturar, lo que significa que el suelo será pobre en bases de cambio. El humus ácido es un

coloide en estado de máxima dispersión; será pues arrastrado fácilmente a la profundidad, arrastrando a su vez los coloides minerales. Si el suelo o substrato son profundos y el clima muy lluvioso, el horizonte superior se irá lavando intensamente y acabará por quedarse convertido casi en una capa de arena silícea limpia: tal es el *podsol*. A su vez, los materiales arrastrados a niveles inferiores, si encuentran en ellos condiciones favorables, v. g., un contenido básico que determine la coagulación, originarán las formaciones especiales llamadas en otros idiomas «alios», «Ortstein» y «hardpan». En cambio, si este suelo se origina sobre un substrato de roca viva somera, tomará una fase oropédica, ofreciendo un simple horizonte humífero negro y ácido sobre la roca madre; y si el clima no es excesivamente lluvioso, este estado se podrá prolongar larguísimo tiempo. En el extremo opuesto, de un máximo de humedad y un substrato suelto, se originarán las gándaras y turberas, en que la propiedad de las especies del género *Sphagnum* de almacenar gran proporción de agua, debido a la proporción de células acuíferas, favorecerá este proceso. En este caso tendremos la verdadera turba; pero el humus negro y ácido se califica de turboso, y ello autoriza a aplicar este calificativo a toda la serie, aun cuando se trate de suelos enjutos.

En los suelos turbosos formados en substrato muy húmedo o con nivel freático próximo, constituyen un carácter concomitante los sedimentos abandonados por esas aguas, los cuales se acusan en el corte como líneas o bandas horizontales. El nombre ruso de *glei* se ha internacionalizado; por lo cual suele indicarse el horizonte respectivo con la letra G.

Tendremos pues en la serie turbosa, según las condiciones de roca madre, clima, etc., varias modalidades de las calificadas de tipo: suelo turboso enjuto, o xero-turboso; podsol; suelo turboso húmedo; y suelo de turbera.

Estos suelos, sobre todo en sus tipos húmedo, anegado y de podsol, son característicos de los climas fríos y relativamente húmedos de las altas latitudes. En España se encuentran también, pero en la región lluviosa: en Galicia son los característicos del área granítica y gneísica y de los substratos de arena silícea. Los tipos que los representan suelen ser los de suelo xeroturboso, en gran parte oropédico, y de turbera fragmentaria, a la que en el país dan el nombre de gándara, extendida sobre todo

en la altiplanicie de la provincia de Lugo y en la hoya de la laguna de Antela.

CUADRO XIX

Ejemplo de suelo xero-turboso maduro (Lu-1)

	NIVELES DEL PERFIL				
	S	I	II	III	IV
Na_2O (Sosa)	0,16	0,12	0,16	0,18	0,17
K_2O (Potasa	0,09	0,04	0,06	0,09	0,08
MgO (Magnesia)	0,18	0,01	0,24	0,31	0,33
CaO (Cal)	0,24	0,05	0,12	0,14	0,33
MnO (Manganesa)	0,05	—	—	—	—
Fe_2O_3 (Sesquióxido de hierro)	3,18	1,77	1,56	0,78	0,34
Al_2O_3 (Alúmina)	2,85	0,95	4,41	0,97	0,84
SO_3 (Sulfúrico)	0,05	0,16	0,04	0,08	0,17
P_2O_5 (Fosfórico)	0,04	0,03	0,04	—	0,01
CO_2 (Carbónico)	—	—	—	—	—
SiO_2 (Sílice soluble)	4,49	5,61	6,20	3,52	2,01
TiO_2 (Titánico)	0,26	0,61	0,53	0,10	0,07
Residuo insoluble	73,56	76,95	82,55	90,59	93,06
Pérdida por ignición	15,54	13,20	4,46	8,86	2,88
TOTAL del extracto clorhídrico	100,69	99,54	100,37	99,62	100,29
Materia orgánica	12,43	9,09	0,77	0,09	0,02
Reacción (pH)	5,75	6,05	6,10	6,30	6,25

Como ejemplo, publicamos el corte (Lu-1) de un suelo xero-turboso en fase avanzada de desarrollo, y su correspondiente análisis químico. Es un suelo con vegetación de gándara seca, situado en la provincia de Lugo, entre las estaciones de Guitiriz y Aranga (1). El nivel S corresponde sólo a una capa superficial de unos 2 centímetros de espesor. El I medía de 30 a 80 centímetros. Estos dos niveles constituyen el horizonte A de acumulación de humus ácido, caracteres bien acusados en las proporciones de materia orgánica y en el valor de pH, aunque éste, en nuestro clima meridional, es muy superior a los que suelen encontrarse en los climas nórdicos. El nivel II, cuyo límite inferior llega a 160 centímetros de profundidad en el centro de la fotografía, es el horizonte B de acumulación en el sen-

(1) Para mayores detalles sobre los suelos de España de que aquí se dan fotografías y análisis, véase mi trabajo *Suelos de España*, publicado en la revista del Instituto Forestal, de donde proceden. Los análisis han sido hechos bajo la dirección del Dr. A. J. de 'Sigmond, de Budapest.

tido de Stremme, horizonte herrumbroso *(Rost)* de los alemanes, bien acusado en las cifras de máximo que alcanzan la alúmina y la sílice soluble. Los niveles III (hasta 265 centímetros de profundidad) y IV (visible hasta 460 centímetros) corresponden al horizonte C. Mientras en los niveles II y III se acusan las filtraciones verticales de los coloides, en la parte inferior del III y en el IV se ven las líneas horizontales de los sedimentos profundos o *glei;* por lo cual el último horizonte podría designarse por G. El carácter C de los dos últimos niveles se acusa en las cifras máximas de residuo insoluble.

Suelos de la serie turbosa se encuentran también en otros puntos del macizo silíceo del Noroeste dentro de su área húmeda, y en el interior de la Península en los pisos altos de la Cordillera Carpetana, igualmente granítico-gnéisica.

Serie sialítica. — Estos suelos se caracterizan por la elaboración, y acumulación bajo la superficie, de importantes proporciones de coloides minerales (alúmina y sílice principalmente, y también más o menos sesquióxido de hierro, etc.), pero no de humus negro y ácido. Se distinguen esencialmente de los de la serie anterior en que su humus es más o menos saturado, y la acumulación sialítica más pronunciada, originando una masa más viscosa y compacta que la masa superficial. Esta podrá estar más o menos lavada, pero nunca llega a degenerar en arena limpia como en el podsol. Tampoco se forma «Ortstein». La acumulación sialítica puede reducirse a un solo horizonte muy limitado, o extenderse a casi todo el espesor. A esta serie pertenece el llamado suelo pardo forestal o tierra parda *(Braunerde)* de Ramann.

Estos suelos son generalmente menos ricos en cantidad total de humus que muchos de los anteriores; pero su humus está saturado: tienen por lo tanto más alta proporción de bases de cambio. Su reacción suele fluctuar entre el punto neutro y una acidez moderada. A estos suelos suelen corresponder en los climas templados los mejores tipos de bosque, los mejores prados y las mejores tierras de cultivo. En climas lluviosos adolecen sin embargo, con frecuencia, de falta de cal. En cambio en climas xerófitos, por sus propiedades físicas suelen ser de mayor rendimiento agrícola que los calizos. En el Centro de España la llanura de arenas silíceas que corre al Sur de la Cordillera Central, da cosechas del sistema cereal muy superiores a los sue-

los calizos y yesosos del área terciaria del SE. de Madrid y de la Alcarria.

CUADRO XX

Ejemplo de suelo sialítico seco (Md-52)

	NIVELES DEL PERFIL			
	S_4	II	III	IV
Na_2O (Sosa)	0,07	0,10	0,12	0 14
K_2O (Potasa)	0,39	0,33	0,20	0,26
MgO (Magnesia)	0,45	1,03	0,49	0,48
CaO (Cal)	0,82	0,87	0,48	1,11
MnO (Manganesa)	0,18	—	0,07	—
Fe_2O_3 (Sesquióxido de hierro)	1,13	1,62	1,69	1,13
Al_2O_3 (Alúmina)	0,75	7.50	2,21	5,10
SO_3 (Sulfúrico)	0,06	0,09	0,02	0,04
P_2O_5 (Fosfórico)	0,07	0.02	0,02	0,03
CO_2 (Carbónico)	—	—	—	—
SiO_2 (Sílice soluble)	5,61	14,87	7,55	8,26
TiO_2 (Titánico)	0,13	—	0,08	0,10
Residuo insoluble	82,08	69,53	85,01	81,16
Pérdida por ignición	8 25	3,74	2,22	2,67
TOTAL del extracto clorhídrico	99,99	99 50	100,16	100,38
Materia orgánica	2,09	0,29	0,02	0.02
Reacción (pH)	6,9	6,9	6,7−	6,7+

En la Península he encontrado dos modalidades del tipo: una húmeda y otra seca. La húmeda abunda en la zona Cantábrica, aunque reducida en gran parte a fase oropédica por lo montañoso del país. De ese subtipo he reconocido allí dos variedades. En una la acumulación sialítica llena casi todo el espesor del suelo propiamente dicho, diferenciándose de ella sólo una capa superficial muy delgada. Esta modalidad la he encontrado en el interior de la provincia de la Coruña, sobre las micacitas; y puede considerarse como una transición de la serie turbosa a la sialítica, pues su humus es todavía muy ácido. A la variedad de horizonte de acumulacion limitado, corresponde el perfil St-4, de la provincia de Santander, cuyo análisis se halla inserto en el primer capítulo de esta obra, y que nos ha servido de ejemplo para infinidad de observaciones. La roca madre es una arenisca caliza; sin embargo la parte propiamente edáfica está descalcificada por completo. El suelo está bien provisto de materia orgánica; pero distanciándose grandemente de la proporción que se registra

en Lu-1, y en general en la serie anterior. Y aquí el humus está saturado; y el suelo es mucho más abundante en bases de cambio. El horizonte A se halla representado por el nivel I; y el B, o de acumulación de sesquióxidos, por los niveles II y III, como lo acusan bien claro las cifras de la alúmina, la sílice soluble y el sesquióxido de hierro.

De la variedad seca daremos como ejemplo el perfil Md-52, que corresponde al encinar del Pardo, al Norte de Madrid, en las arenas silíceas cuaternarias antes citadas. La muestra de superficie para el análisis fué tomada al pie de una encina. El horizonte A está representado por el nivel S_4, que llega a unos 20 centímetros o poco más de profundidad. Es mucho más pobre en humus que el suelo sialítico húmedo de Santander. En otros puntos, desforestados, de la superficie, era más pobre aún. El horizonte B, de acumulación de sesquióxidos, corresponde al nivel II, que llega a 75 centímetros de profundidad. Las cifras de la sílice, la alúmina y el hierro acusan perfectamente su carácter. Los niveles III y IV, que llegan respectivamente a 200 y 325 centímetros, corresponden al horizonte C o roca madre, prácticamente sin materia orgánica, y son arenas y gravas de una terraza cuaternaria.

En la variedad seca de este tipo suele ser característica la estructura prismática o «acanutillada», que atrás mencionamos, y que se origina como efecto de la contracción de la masa general al secarse los coloides, que se han acumulado por descenso.

A la misma serie pertenecen los suelos rojos y amarillos del Sud-Este de los Estados Unidos, con los cuales no se han identificado hasta ahora suelos europeos. Para aclarar este punto sería necesario que las personas que estudian los suelos del Sur de Europa visitaran el SE. de los Estados Unidos. España es uno de los países donde este problema está planteado, y lo mismo que otros, no se resolverá mientras no se comprenda que la resolución de los problemas edafológicos de un país exige con frecuencia viajes a otros muy distantes.

Serie alítica. — Los suelos alíticos son aquellos de cuyo proceso resulta acumulación ascendente de sesquióxidos con lavado de la sílice soluble. Esta serie y la anterior pueden englobarse en la denominación general de «suelos de sesquióxidos», pues ambos forman y acumulan el de alúmina, al que suele acompañar más o menos el de hierro; pero las diferencias que los se-

paran son suficientemente profundas para hacer de ellos dos series distintas. Los suelos alíticos se originan sólo en las bajas latitudes, únicas donde coexisten los dos factores de alta temperatura y caudalosa precipitación que en su formación concurren. A esta serie corresponden los suelos de laterita y lateríticos, cuya naturaleza parece haber puesto en claro Harrassowitz. El nombre de laterita fué aplicado por Buchanan, en 1807, a una tierra roja que vió en la India utilizar como material de construcción, a modo de ladrillo (en latín *later, lateris*, y de aquí la denominación), secando sus fragmentos al sol. Desde entonces fué general entre los exploradores y geógrafos designar como *laterita* todos los suelos rojos tropicales. La investigación moderna comprendió que era necesario fijar este concepto, y se preocupó ante todo de definir el concepto de la laterita como roca, desde el punto de vista de su composición. El carácter esencial de ella es la presencia, como constituyente principal, del hidróxido de aluminio, generalmente acompañado del de hierro, pero sin sílice soluble. En una laterita pura la sílice sólo podrá estar en forma lapídea, de cuarzo. Como estos elementos esenciales no se presentaban en proporción de dominio absoluto en todos los suelos, Marbut, fundado en los trabajos de Fermor, distinguió en el Africa intertropical tres tipos de suelos generalmente rojos, aunque el color no sea en ellos lo esencial (1): 1.°, *suelos rojos tropicales* (**red loams**): en ellos siguen existiendo con alta proporción coloides sialíticos (es decir, sesquióxidos con sílice soluble), mientras que los elementos lateríticos, deducido el cuarzo, no pasan de un 25 por ciento; 2.°, *suelos rojos lateríticos,* en que los hidróxidos característicos de la laterita, sin sílice, alcanzan, deducido el cuarzo, una proporción del 25 al 90 por ciento; y 3.°, *suelos de laterita*, con un 90 por ciento o más de elementos lateríticos, deducido el cuarzo.

Pero esto es más bien la caracterización de la roca o del horizonte, que la clasificación del perfil. En un perfil laterítico la proporción de hidróxidos dessilificados puede variar según el nivel que se considere y el estado de la evolución del suelo, pero lo esencial es la naturaleza de esta evolución y de los productos cuya acumulación origina. Muchos de los perfiles de laterita se encuentran

(1) H. L. SHANTZ y C. F. MARBUT: *The vegetation and soils of Africa*. Wáshington, 1923.

en etapas póstumas, ya por destrucción, ya por recubrimiento, y esto ha dificultado el llegar al verdadero conocimiento del tipo.

Según Harrassowitz, un perfil completo y maduro de suelo laterítico, más propiamente de suelo alítico, se compone de cuatro horizontes, que de abajo hacia arriba son: la *roca madre;* la *zona de descomposición;* la *zona de concentración;* y la *costra ferruginosa.* Debido a la energía con que concurren los factores edáficos en la zona tórrida, los perfiles de suelos alíticos alcanzan profundidades mucho mayores que en las zonas templadas y frías. La descomposición de la roca madre puede alcanzar a muchos metros de profundidad. Las rocas madres que dan lugar a estos suelos son rocas de silicatos, como el granito o el gneis. Tenemos pues, como material originario fundamental, los silicatos de alúmina y base alcalina o alcalino-térrea y óxido de hierro; y como fuerzas fundamentales actuantes, grandes precipitaciones y altas temperaturas. Estas condiciones son opuestas a la lenta descomposición de la materia orgánica, y la que suministra la exuberante vegetación tropical es quemada rápidamente en el tiempo seco, y arrastrada en el lluvioso a la profundidad. Estos suelos son pobres en humus, y ácidos. En la descomposición de la roca madre, dominan como efectos: la eliminación de bases y la de sílice solubilizada. El resultado es que, en la zona de descomposición, los productos que resultan cada vez más dominantes son hidratos de alúmina y hierro, con una parte de sílice no eliminada aún. La elevada temperatura da lugar a que en el tiempo de sequía estos hidratos asciendan hacia la superficie, y se acumulen en la zona de concentración, donde continúa el lavado de sílice al repetirse las lluvias. Por fin, el término del proceso ascensional, principalmente de los hidratos dessilicificados, pero también de los restos de sílice no eliminada, es la acumulación superficial en forma de costra ferruginosa, que puede alcanzar espesores de más de un metro. Se reproduce pues aquí un fenómeno análogo al del «alios» u «Ortstein», pero en sentido inverso. Según el grado a que haya alcanzado la eliminación de la sílice en cada nivel en un tiempo dado, tendremos allí la laterita de Fermor y Marbut, o simplemente la roca laterítica o sublaterítica. El clima que favorece este doble proceso es el de la alternancia de estaciones secas y lluviosas, muy extendido como se sabe en la zona tórrida.

CUADRO XXI

Ejemplo de perfil laterítico (Ettakot)

	NIVELES Y HORIZONTES					
	Roca madre	Horizonte de descomposición		Horizonte de concentración		Costra ferruginosa
	I	II	III	IV	V	VI
Análisis total						
Na_2O (Sosa)	4,64	2,99	—	—	—	—
K_2O (Potasa)	1,55	1,08	—	—	—	—
MgO (Magnesia)	0,91	0,47	3,46	0,15	0,19	0,27
CaO (Cal)	5,16	3,76	3,84	0,66	0,27	0,73
Fe_2O_3 (Sesquióxido de hierro)	3,76	2,28	18,98	5,89	7,23	29,81
Al_2O_3 (Alúmina)	18,85	18,11	18,25	25,23	28,37	36,85
TiO_2 (Titánico)	0,57	0,31	2,20	0,77	0,54	2,27
SiO_2 (Sílice total)	64,76	69,47	47,62	58,60	52,80	14,13
H_2O (Agua) +	0,31	2,08	6,41	9,20	10,76	16,43
H_2O —	(0,20)	0,34	(2,06	(0,94	(0,51	(1,51)
TOTAL	100,51	100,55	100,84	100,50	100,16	100,49
Análisis del extracto clorhídrico						
MgO (Magnesia)	0,54	0,44	0,75	0,14	0,16	0,27
CaO (Cal)	1,65	0,96	2,12	0,65	0,25	0,72
Fe_2O_3 (Sesquióxido de hierro)	1,41	1,37	13,63	6,25	6,57	26,11
Al_2O_3 (Alúmina)	5,67	5,15	13,60	9,42	6,72	31,31
TiO_2 (Titánico)	0,27	0,18	0,77	0,35	0,11	0,46
SiO_2 (Sílice soluble)	2,57	3,35	8,92	6,47	5,58	7,25
Residuo insoluble	88,35	86,95	54,11	67,48	70,20	19,08
Substancias solubles en ácido sulfúrico e insolubles (o inatacables) en el clorhídrico						
MgO (Magnesia)			2,71	0,01	0,03	—
CaO (Cal)			1,72	0,01	0,02	—
Fe_2O_3 (Sesquióxido de hierro)			5,25	—	0,59	3,69
Al_2O_3 (Alúmina)			3,99	15,81	22,21	5,55
TiO_2 (Titánico)			1,42	0,42	0,43	1,77
SiO_2 (Sílice)			15,32	30,77	21,12	6,97

Como ejemplo de perfil laterítico transcribimos aquí, de Harrassowitz, uno de Ettakot (Malabar), tomado por Reuning, con

los análisis total, del extracto clorhídrico y del tratamiento del residuo de éste por el ácido sulfúrico, lo que permite apreciar el proceso fundamental relativo a los sesquióxidos y la sílice. En los países de la zona templada se encuentran perfiles lateríticos o fragmentos de ellos en estado fósil, correspondientes a épocas geológicas diversas, en que el país respectivo estuvo sometido a clima muy distinto del actual.

Los suelos rojos y amarillos citados en el SE. de los Estados Unidos, e incluídos en el tipo anterior, constituyen probablemente una transición de la serie sialítica a la serie alítica.

Serie caliza.—Formamos esta serie, no con todos los suelos que contengan una mayor o menor proporción de cal en alguno o varios de sus horizontes (a este otro concepto le aplicaremos la expresión de «suelos calcíferos»), sino con aquellos cuyo carácter saliente es un proceso de acumulación de carbonatos (o eventualmente sulfatos) a mayor o menor profundidad. Así puede ocurrir que, por esta acumulación debida al lavado, el nivel superficial haya sido descalcificado; y no por eso dejará el suelo de pertenecer a esta serie. En cambio, en modo alguno se han de relacionar con ella suelos de otro tipo, como el sialítico, por el hecho de que la roca madre o substrato sea calizo, como suele hacerse en el lenguaje vulgar y aun en el de técnicos ajenos a la Edafología, lo que da lugar a graves errores sobre suelos no explorados directamente. Es evidente que, para producirse el proceso de descalcificación y acumulación profunda de sus productos, ha de haber caliza en el estrato originario. Pero esta caliza puede presentarse en diferente forma y con diversa procedencia. Puede ser una roca viva sobre la cual se forme el suelo sedentariamente. Puede ser una roca de transporte, como un aluvión margoso, o un loess, aportado por el viento. Y puede también el viento aportar, en forma de polvo, una cierta proporción de caliza, que de este modo se añade al terreno a la par que el lavado tiende a descalcificarlo.

Pero todo esto es el aspecto geológico del proceso; y la clasificación de suelos debe fundarse exclusivamente en los caracteres edáficos que esas diferentes formas de proceso geológico originan. Una clasificación rigurosamente satisfactoria de los suelos de esta serie no creemos que esté hecha. Por eso nos limitaremos a indicar los tipos y modalidades más importantes

que en ella se incluyen. Entre ellos figuran dos eminentemente clásicos: la *rendzina* y el *chernosiem*. «Rendzina» es una voz polaca, de etimología desconocida; y *chernosiem* procede de Rusia y significa literalmente «tierra negra». Ambos se han internacionalizado.

La rendzina es un suelo rico en humus saturado, sobre un substrato de roca caliza. La abundancia de cal, dado el efecto protector de ésta sobre los coloides, es un factor que favorece la conservación del humus y su saturación. La rendzina es por esto un suelo de reacción básica (como todos los de esta serie en general) y muy rico en alimentos. Suele ser característica de las montañas calizas en clima no demasiado húmedo, de suerte que no pueda llegarse a la descalcificación. En España, por ejemplo, los substratos calizos de la vertiente cantábrica dan lugar, por descalcificación, a suelos sialíticos, como el de nuestro perfil St-4; mientras que al Sur de esa divisoria, y a mayor o menor distancia de ella, forman rendzinas, como se observa en el alto Aragón, la Navarra media, Alava, etc.

El nombre de *chernosiem* se aplicó originariamente a las tierras negras de Ukrania, formadas bajo vegetación de «estepa de gramíneas», a expensas del loess. La roca subyacente es así independiente del suelo, y puede ser muy varia. Allí el viento puede seguir aportando caliza. En la parte inferior del suelo propiamente dicho se acumulan, en forma de concreciones, los carbonatos que por filtración se lavan de los niveles más altos. Suelos clasificados en el mismo tipo se encuentran en la Pampa fértil argentina, en las «Praderas» de los Estados Unidos, en el Transvaal y otros países. El chernosiem propiamente dicho corresponde a un clima más bien subxerófito que xerófito. En Ukrania, como en la Pampa fértil argentina, llueve todo el año, aunque irregularmente, con intervalos de sequía limitados, y con totales de precipitación no del todo bajos en relación con la temperatura; muy diferentemente que en la Región Mediterránea, donde hay una estación seca estival prolongada y el total de precipitaciones se acumula principalmente en el semestre invernal. Pero, pasando del clima óptimo de chernosiem a los inmediatos, se van encontrando en la serie caliza tipos de terreno que se apartan de las condiciones óptimas del chernosiem, ofreciendo menor lavado, menor espesor del horizonte A y menor proporción de humus. Stremme sintetiza en estos da-

tos, tomados de Glinka, los cuadros subtipos que matizan la transición:

Suelos		Espesor del perfil edáfico	Tanto por ciento de humus	Residuo de carbónico (1) en los horizontes superiores	Reacción
Semidesértico	Gris.	50 cm. ±	1,6-2	$> 1/2$	Alcalina
	Pardo.	40-50 »	1,8-2	$> 1/5$	Alcalina
Castaño		hasta 60 »	3,5-7,5	0 hasta 11 cm.	Alcalina
Chernosiem		hasta 1 metro	4-15	$1/50$ - $1/150$	Alcalina

Un suelo originariamente forestal puede transformarse después de desforestado, por efecto de la vegetación pratense o el cultivo, en un tipo próximo al chernosiem, tan próximo que ha sido englobado con él por algunos edafólogos, aunque nuestra opinión es opuesta a ello. Uno de estos casos lo ofrece el llamado por los norteamericanos «prairie soil», expresión cuya traducción literal originaría confusión, pues en el lenguaje corriente se engloban tipos de vegetación muy distintos bajo el epígrafe de «praderas» y con referencia a Norte-América. El «prairie soil» se encuentra allí entre la verdadera estepa de gramíneas con chernosiem, y la región de los bosques mesófitos con suelo sialítico. Su vegetación no se tiene por clímax, sino por subserial; y el suelo correspondiente parece un antiguo suelo forestal transformado por la substitución de la vegetación herbácea a la leñosa originaria. En su etapa normal y avanzada no contiene carbonatos en sus horizontes pedológicos, a pesar de que, en gran extensión, las rocas madres son muy calizas. El estrato superior es más suelto y el subyacente máscompacto.

Otro caso es el del chernosiem húngaro, que proviene también de un antiguo suelo forestal, como atrás hemos indicado; y que dentro de nuestro criterio sería más exacto clasificar como fase agropédica de una etapa póstuma.

Hay otras modalidades de suelos de acumulación caliza, que no coinciden exactamente con las citadas, pero que corresponden evidentemente al mismo grupo. El englobe dependerá de la precisión que se dé a la definición de cada concepto. El chernosiem ha sido descrito por caracteres en gran parte ajenos a su realidad puramente edáfica: los fenómenos geológicos del «loess», el clima xerófito o subxerófito, la vegetación de estepa de gramíneas, etc. Hay suelos de acumulación caliza que nada tienen que

(1) Correspondiente a los carbonatos.

ver con la formación de «loess» ni con la estepa de gramíneas, y que no pueden englobarse tampoco con la rendzina por no reposar sobre la roca viva caliza de la cual se han originado sus materiales. La distinción entre éstos y el grupo del chernosiem exige una precisión de conceptos que solamente los que hayan estudiado *de visu* todos estos suelos podrán hacer con seguridad. Entretanto lo más prudente es limitarse a distinguir entre suelos de acumulación caliza más o menos prematuros y suelos de acumulación caliza en etapa avanzada, lo que en el fondo sería cuestión de etapa y no de tipo; o bien, penetrando más en la esencia de la cuestión, entre suelos de acumulación caliza sedentarios, formados a expensas de una roca madre caliza, infrayacente, y suelos de acumulación formados a expensas de una roca detrítica de transporte e independientes de la infrayacente, distinción también acaso más geológica que edafológica. Tomando como base esta última, la *rendzina* pertenecería al primer caso; y al segundo el chernosiem y los suelos últimamente aludidos. Estos suelos proceden, como el chernosiem, de rocas detríticas de transporte, pero no eólicas, sino de aluvión (en el sentido geológico pero no edafológico de esta palabra).

Presentaremos dos ejemplos de suelos españoles de estas dos últimas modalidades.

El primero es una rendzina (Ct-1) correspondiente a un substrato de roca caliza de la mancha triásica de Segorbe, en la provincia de Castellón. La clímax vegetal, que es un pinar de *halepensis*, se conserva en el lugar donde se tomó el perfil. Este consta, como en todos los suelos de este tipo, de dos solos horizontes, A y C, en el sentido de Stremme; el *A* es el suelo propiamente dicho, y el *C* la roca madre. El horizonte *A* es sumamente irregular: se trata de un país quebrado y rocoso; de modo que, mientras en algunos puntos forma bolsón más o menos profundo, en otros se reduce a una capa delgada somera, y en otros, muy numerosos, asoma en la superficie el horizonte *C* o esqueleto del suelo. El perfil ha sido tomado en un punto donde alcanza la excepcional profundidad de 2 metros. Los niveles I y II corresponden a un solo horizonte, el *A*. El nivel III puede incluirse, dentro del criterio de Stremme, en la misma calificación; pero en realidad marca la transición del verdadero suelo a la roca madre, componiéndose en gran parte de productos de detrificación de ésta. En las cifras de análisis pueden observar-

se, en el grado más eminente, los caracteres distintivos de la rendzina: gran riqueza en humus y difusión de éste en profundidad; reacción básica, aunque ésta moderada; aumento de la proporción de carbonatos con la profundidad; y ausencia de una verdadera acumulación de sesquióxidos.

CUADRO XXII

Ejemplo de rendzina (Ct-1)

	NIVELES DEL PERFIL			
	I	II	III	IV
Na_2O (Sosa)	0,28	0,30	0,31	0,18
K_2O (Potasa)	0,42	0,58	0,42	0,27
MgO (Magnesia)	3,03	5,96	3,28	3,08
CaO (Cal)	27,39	27,23	29,83	45,93
MnO (Manganesa)	0,29	0,29	0,43	0,14
Fe_2O_3 (Sesquióxido de hierro)	2,21	2,20	3,09	1,00
Al_2O_3 (Alúmina)	3,34	4,04	3,31	1,20
SO_3 (Sulfúrico)	0,23	0,15	0,06	0,14
P_2O_5 (Fosfórico)	0,01	0,013	0,02	0.009
CO_2 (Carbónico)	22,08	24,44	24,40	37,09
SiO_2 (Sílice soluble)	6,09	6,90	7,46	2,89
TiO_2 (Titánico)	0,04	0,04	0,05	—
Residuo insoluble	21,32	19.59	20,99	6 94
Pérdida por ignición	12,78	7,49	6.24	1.09
TOTAL del extracto clorhídrico	99,51	99,22	99.87	99,959
Materia orgánica	7 98	3,74	3,03	—
Reacción (pH)	7,2	7,3	7,3	7,3

Antes de pasar al ejemplo de suelo calizo de acarreo y profundo, hemos de hacer notar que con esta serie se relacionan dos modalidades de suelos de gran extensión en la Región Mediterránea y climas análogos: las tierras rojas de descalcificación y gran parte de los suelos de calvero.

El color rojo del suelo no es base para establecimiento de un tipo: puede hallarse en tipos de series muy diferentes, como la sialítica, la alítica y esta de que ahora tratamos. En la mayoría de los casos el color rojo (o en su lugar el amarillo ocráceo) procede del óxido de hierro. El origen de la existencia de éste en el suelo es su existencia en la roca madre de que el suelo procede. Pero el clima puede ser causa de que éste se conserve y no sea arrastrado por el lavado, y la naturaleza del proceso edáfico que bajo tal clima se realiza, le imprime una energía cromá-

tica especial. Los trabajos, experimentales, de Fodor y Reifenberg han demostrado que el óxido de hierro peptonizado directamente (de su estado mineral lapídeo) por la sílice coloide, origina coloraciones rojas especialmente vivas, que son las características de las tierras rojas mediterráneas. Reifenberg ha hecho ver que, en la descomposición edafógena del substrato calizo, bajo el mismo clima, se producen cantidades más o menos elevadas de sílice coloide (1).

En el Mediterráneo son frecuentes los suelos rojos procedentes de areniscas triásicas y de calizas de diversos períodos geológicos del secundario y terciario. Las calizas que contienen hierro no presentan generalmente tono rojo en la superficie de erosión, sino más a menudo blanquecino o gris. En la fractura el hierro suele acusarse por manchas rojizas o amarillas. Cuando estas rocas madres son atacadas por los agentes que elaboran el suelo, el tipo que de éste se forma, bajo la vegetación de bosque xerófito, es la rendzina: más o menos negruzca, con matices achocolatados. Aquí gran parte del carbonato ha sido ya lavado, pero el hierro está enmascarado por el humus. Cuando estos suelos son desforestados o irracionalmente cultivados o arruinados por el pastoreo, el humus, falto de la vegetación que lo alimentaba, y pasto de los agentes erosivos, va siendo arrastrado junto con la caliza, y entonces se hace cada vez más dominante el color rojo del hierro directamente peptizado. Estos suelos rojos son pues rendzinas deshumificadas. Pueden verse en gran extensión en las áreas calizas y rocosas de España y en las graderías de bancales con que en las laderas levantinas se ha substituido el bosque xerófito originario por el cultivo, principalmente leñoso (vid, olivo, algarrobo, etc.), de regadío.

Durante gran espacio de tiempo, a través del cuaternario, las rendzinas deshumificadas han sido arrastradas por las lluvias y la acción coluvial a las hondonadas y costas, y acumuladas en depósitos de algunos metros de espesor. La vegetación ha ido tomando posesión del nuevo terreno, tendiendo a su clímax, que en el clima actual es el bosque xerófito, y los demás factores edafológicos han ido colaborando con ella. El proceso de humificación y descalcificación se ha reproducido, sin llegar, por la naturaleza del clima xerófito, a grandes extremos de lavado; pero

(1) A. REIFENBERG: *Die Entstehung der Mediterran-Roterde.* Dresden y Leipzig, 1929.

favorecida en cambio por la soltura y profundidad del substrato; y así se han formado suelos de acumulación caliza profundos independientes de la roca local infrayacente.

CUADRO XXIII

Ejemplo de suelo de acumulación caliza avanzado (Va-3)

	NIVELES DEL PERFIL			
	I	II	III	IV
Na_2O (Sosa)	0,30	0,19	0,24	0,21
K_2O (Potasa)	0,39	0,38	0,32	0,29
MgO (Magnesia)	1,77	1,87	2,01	0,46
CaO (Cal)	3,21	3,99	12,88	22,29
MnO (Manganesa)	0,38	0,14	0,19	0,38
Fe_2O_3 (Sesquióxido de hierro)	3,60	2,11	2,69	1,99
Al_2O_3 (Alúmina)	4,68	7,07	6,29	5,52
SO_3 (Sulfúrico)	0,10	0,14	0,13	0,08
P_2O_5 (Fosfórico)	0,025	0,028	0,03	0,02
CO_2 (Carbónico)	3,22	2,41	8,82	16,97
SiO_2 (Sílice soluble)	10,81	13,10	11,43	9,50
TiO_2 (Titánico)	0,07	0,08	0,06	0,03
Residuo insoluble	67,10	62,99	51,51	37,88
Pérdida por ignición	4.31	5,10	3.87	4.11
TOTAL del extracto clorhídrico	99,965	99,598	100.47	99.70
Materia orgánica	1,31	1,12	0,62	0,19
Reacción (pH)	7,15	7,15	7,15	7,2

Un ejemplo de suelo de esta clase es el perfil Va-3, tomado en la llanura valenciana, unos 2 kilómetros al Sur de Torrente. Corresponde a los aluviones rojos cuaternarios y en la actualidad está dedicado al cultivo del algarrobo. El nivel I mide un espesor de 25 a 30 centímetros; el II llega hasta los 50 ó 55. Ambos vienen a constituir un horizonte humífero. El humus es mucho menos abundante que en el suelo forestal, pero se difunde también hasta gran profundidad, puesto que todavía figura con un 0,62 por ciento en el nivel III, que alcanza hasta un metro próximamente a contar desde la superficie, y en el siguiente aun figura en proporción sensible. El nivel III es un primer horizonte de acumulación caliza, que tiende a concrecionarse en forma de muñequillas, como se acusa en la misma fotografía. El nivel IV es un segundo horizonte de acumulación caliza: ésta se condensa allí más, en masa compacta, formando

un banco. Esta concentración caliza en los horizontes III y IV se acusa perfectamente en las cifras de la cal y el carbónico. Las cifras de la alúmina y de la sílice soluble acusan también una cierta acumulación de coloides en los horizontes II (sobre todo) y III; que vienen a componer así un débil horizonte B en el sentido de Stremme. Los dos procesos, el de acumulación sialítica y el de acumulación caliza, se cruzan aquí; pero el segundo es el que predomina y da carácter tipológico al suelo (véase la descripción del grupo II de Marbut, que es el equivalente a nuestra Serie Caliza).

La modalidad a que hemos llamado *suelo de calvero,* internacionalizando en la ciencia una denominación popular castellana, no es realmente una división exclusiva de la serie caliza, sino una fase póstuma que igualmente puede presentarse en suelos sialíticos; pero que es más frecuente y típica en suelos de acumulación caliza, ya domine en ellos este elemento, ya el yeso. El suelo de calvero se caracteriza por una destrucción desigual del horizonte humífero, paralela a la de la vegetación. Cuando ésta es, por ejemplo, un matorral leñoso claro, como un coscojal, debajo de cada coscoja el horizonte A se ha conservado (o reproducido) con los caracteres propios de la rendzina, o, en general, del suelo humoso-calizo, mientras que en los intervalos se halla más o menos destruído o recubierto por una costra caliza. Lo mismo sucede cuando la vegetación subserial es de matas más pequeñas, como el tomillar. Desde lejos, y aun desde cerca para un observador poco entendido en la materia, o mal conocedor del país, estos suelos se toman por desérticos, y hasta en obras de pretensiones científicas se ha venido repitiendo que carecen de humus. Más aún, hay muchos análisis en que así aparece, sea porque las muestras fueron tomadas en áreas extremadamente desertizadas, sea sencillamente porque se tomaron mal, inconscientemente, en los intervalos aparentemente calvos o tapizados de costra caliza, o porque no se supo hacer el análisis. El que esto escribe ha tomado muestras de estos mismos suelos, y hasta de las mismas localidades en que se citaron como desérticos y sin humus, y ha encontrado en ellos la rendzina fragmentada, tal como acaba de ser descrita, con porcentajes de materia orgánica de más del 6 por ciento en las áreas humosas, y del uno y medio al 2 por ciento en las llamadas calvas (1).

(1) En un coscojal muy claro de los cerros del Piul, cerca de Vaciamadrid, sobre caliza, 6,12 por ciento bajo las coscojas y 1,49 por ciento en las aparentes calvas. En

Serie salina. — Los suelos de esta serie se caracterizan por una acumulación de sales solubles apartadas por un movimiento ascensional. En modo alguno incluimos en este grupo los suelos yesosos, que son cosa muy distinta, como ya hemos tenido ocasión de advertirlo, siempre que son únicamente yesosos. Pero es en cambio frecuente que el suelo salino arme en una masa yesosa. Conviene pues deslindar claramente una cosa de otra. Cuando se habla de sales solubles se entiende las «muy solubles», y sólo cuando éstas se presentan en proporciones suficientes para originar un cambio en la vegetación local, respecto de la general climática o regional, los suelos se califican de salinos. En este sentido esta denominación es sinónima de la de «suelos alcalinos», que también se les aplica porque las sales solubles de que se trata son sales alcalinas o alcalino-térreas. Estas sales son principalmente cloruro de sodio, sulfato de sodio, sulfato de magnesia, nitrato de potasio y carbonato de sodio. Esta última es la más nociva de las sales, y se llama por los norteamericanos, que la padecen en la Gran Cuenca cerrada del Oeste, «álcali negro»; mientras que con la denominación de «álcali blanco» engloban todas las demás.

Los suelos alcalinos se han dividido en dos tipos principales, para los cuales se han internacionalizado las denominaciones de *solonchak* y *solonetz* de la edafología rusa. El valor etimológico de estas dos palabras es el de *saladar*. *Solonchak* se llama el suelo salino en que las sales solubles que ascienden por capilaridad se acumulan en la misma superficie, en la que, al secarse el suelo en la estación de gran evaporación, forman eflorescencias y costras. En el *solonetz* la superficie está ocupada por una capa arcillosa impermeable; y las sales se acumulan debajo de este primer horizonte.

Los suelos salinos se extienden principalmente en las regiones secas de latitudes medias y bajas del globo: Oeste interior de los Estados Unidos; interior de la América austral, de la Pampa a los Andes peruanos y costa del Pacífico; Asia Central; Sahara y desierto de Kalahari en Africa; meseta nordafricana de los *chotts* y gran parte de España, Asia Menor, etc., en el Mediterráneo; Sudeste de Rusia; Hungría; región árida de Australia;

una asociación gipsícola de los mismos cerros, con sólo un 16,5 por ciento de la superficie ocupado por vegetación fanerogámica, 3,86 por ciento de materia orgánica en las áreas mejor conservadas y 1,97 por ciento en las intermedias.

etcétera. Pero en general no debe decirse que el clima sea la «causa» de los suelos salinos; sobre todo allí donde el clima y la vegetación general por él condicionada producen también suelos muy diferentes. En el clima de la España seca, por ejemplo, las mayores extensiones son de suelos sialíticos y de acumulación caliza: éstos se encuentran en las mismas áreas climáticas que los suelos salinos, en su mismo límite y entremezclados con ellos. Un mismo clima no puede ser «causa» de efectos tan diferentes. Además, suelos salinos los hay también en climas húmedos y nórdicos, v. g., en el interior de Escandinavia. La causa es pues otra: la causa tiene que ser geológica. Pero la acumulación de los suelos salinos en las áreas secas no permite tampoco excluir del fenómeno el factor climático. La sequía no crea las sales; pero impide o dificulta su lavado y arrastre por otros agentes climáticos cofactores del suelo.

En trabajos ya numerosos del que esto escribe, se ha llamado la atención sobre el falso concepto que, de la naturaleza de la España seca, ha mantenido durante más de medio siglo el conjunto de errores que podemos llamar «teoría esteparia». Esta teoría ha sido el efecto de un conjunto de confusiones: unas concernientes a la Geobotánica y otras a la Edafología. Del hecho de que existan en muchas partes de España (Meseta N., Meseta S., Cuenca del Ebro, Litoral SE., etc.) manchas salinas que salpican el país, se ha pasado a figurar como saladares inmensas áreas en las que dichas manchas alternan con suelos de otra clase, en general aprovechables y aprovechados para la agricultura; se han confundido los suelos salinos con los yesosos, y hasta con muchos simplemente calizos, que ni siquiera tienen yeso; se ha llamado estepas a los saladares y a los tomillares; y se ha desconocido que la inmensa mayoría de esos terrenos no constituyen la forma originaria y natural del paisaje, sino que son un resultado de la destrucción operada por el hombre: la vegetación se reduce a etapas suberiales; los suelos están reducidos a modalidades póstumas.

El concepto de suelo salino debe pues limitarse estrictamente a lo que expresa la definición que de él y de sus dos tipos hemos dado.

Las partes de España en que mayor proporción de superficie suman las manchas salinas son la Cuenca Central del Ebro y el Litoral Sud-Este, siguiendo luego la Meseta Sur, la Bética, y por fin la Meseta Norte en que se hallan muy reducidas.

El estudio de los caracteres y distribución de los suelos salinos en España lleva a la convicción de que su causa eficiente hay que buscarla en fenómenos geológicos de profundidad, a su vez enlazados con el proceso de descenso tabular fragmentario que caracteriza la historia geológica de la Península desde los tiempos terciarios: los volcanes, algunos contemporáneos ya del hombre, las salsas que aun han llegado con actividad a nuestros días, las lagunas salinas y los saladares, se muestran como jalones, en gradación descendente, de un mismo orden de fenómenos. La última manifestación de esta actividad profunda es la exhalacion de gases y vapor de agua que originan lagunas y áreas de humedad independientes de las precipitaciones, y sulfataciones y otras mineralizaciones de materias básicas encontradas al paso (1). Como consecuencia de estos fenómenos profundos, las sales aparecen impregnando hasta los materiales lapídeos cuando la erosión los ha llevado a la superficie, como se observa especialmente en la cuenca del Ebro y el Litoral Sud-Este.

CUADRO XXIV

Ejemplo de suelo salino del tipo solonchak (Zg-3)

	NIVELES DEL PERFIL			
	I	II	III	IV
Na_2O (Sosa)	0,43	0,45	0,24	0,22
K_2O (Potasa)	0,94	1,12	0,63	0,42
MgO (Magnesia)	5,50	4,41	8,86	2,00
CaO (Cal)	20,62	21,47	12,55	31,30
MnO (Manganesa)	0,24	0,20	1,95	0,35
Fe_2O_3 (Sesquióxido de hierro)	2,88	1,26	1,86	1,53
Al_2O_3 (Alúmina)	2,95	2,82	3,06	3,67
SO_3 (Sulfúrico)	8,02	15,83	14,46	1,50
P_2O_5 (Fosfórico)	0,06	0,02	0,02	0,02
CO_2 (Carbónico)	14.10	12,73	10,68	20,30
SiO_2 (Sílice soluble)	11,00	9,46	13,73	15,50
TiO_2 (Titánico)	0,03	0,02	0,02	0,02
Residuo insoluble	27,40	18,90	17,62	17,40
Pérdida por ignición	6,68	11,56	14,38	5,45
TOTAL del extracto clorhídrico	100,85	100,25	100,06	99,74
Materia orgánica	1 47	0,95	0 37	0,24
Reacción (pH)	7,1	6,80	6,68	6,7

(1) Véase mi citado trabajo en la revista del Instituto Forestal, 1930.

Como ejemplo de suelo salino, citaremos un perfil tomado cerca de Bujaraloz, en el corazón de Los Monegros (provincia de Zaragoza), y que lleva en nuestra colección la contraseña Zg-3 y pertenece al tipo de *solonchak*. El terreno forma allí una extensa llanura. A pesar de su carácter salino había sido ya cultivado en otro tiempo, pero abandonado de nuevo, y reinvadido por la vegetación natural halófila: una consocies de *Suæda fruticosa*. El perfil fué tomado en el mes de febrero; pero, como el invierno es allí seco, la época no impedía que se acusase más o menos en la superficie la eflorescencia salina.

La calicata alcanzó a un metro y medio de profundidad, y en ella se distinguen claramente los horizontes:

I, de 0 a 20 ó 25 centímetros

II, de 20 ó 25 a 90 centímetros

III, de 90 a 140 centímetros

y IV, visible unos 10 centímetros más en que se detuvo la cala.

Aquí las bases, especialmente las alcalino-térreas, aparecen representadas por cifras altas, mientras que los sesquióxidos lo están por cifras bajas y no acusan acumulación sensible en un nivel inferior. Hasta el límite del 4.° horizonte una tercera parte de los materiales, incluyendo el yeso, son solubles en agua. Las cifras de la sosa acusan una acumulación de cloruro de sodio en los niveles superiores. (El ion cloro no figura en el análisis por tratarse de un extracto clorhídrico.) Las sales de magnesia se acusan también en abundancia en los tres niveles superiores. El solonchak arma sobre un substrato geológico calizo, a través del cual el elemento ácido aportado por las exhalaciones se acusa en los escasos valores de pH de los horizontes inferiores.

En cambio en los suelos salinos de álcali negro, en que el elemento ácido (carbónico) es suave y el básico (sodio) fuerte, el índice pH alcanza sus valores máximos, pasando de 8 y aun de 9. En las costras salinas de la Mancha, recogidas durante el otoño, y en el agua de sus lagunas, hemos encontrado también valores de pH alrededor de 8.

Serie aluvial. — La palabra «aluvión» y sus derivados se pueden tomar en dos sentidos diferentes que no deben confundirse: geológico y edafológico.

En sentido geológico el aluvión es un terreno de acarreo acumulado por arrastre superficial, ya mediante las corrientes

de agua, ya mediante la de las lluvias en colaboración con el viento. El aluvión geológico se sigue llamando así aunque hayan pasado las causas que lo formaron, mientras quede el efecto, que es la masa de tierra acumulada. Ahora bien, este terreno, una vez formado y abandonado a sí mismo, es invadido por la vegetación y atacado por el concurso de todos los factores edafológicos, en armonía con el clima y demás caracteres del medio: de ello se origina un suelo, que, al cabo de un lapso de tiempo, llega a madurar, y desde las primeras etapas de su evolución tiende ya a un tipo determinado, que puede ser muy vario: podsol, suelo sialítico, suelo de acumulación caliza, etc. El aluvionamiento, al cesar, ha dejado la roca madre del suelo, nada más. Pero éstos no son «suelos de aluvión» en sentido edáfico.

El fenómeno edáfico se refiere sólo al momento geológico actual. *Suelo de aluvión* es, pues, en sentido edafológico, aquel que se constituye por una serie de superposiciones sucesivas, repetidas con la suficiente frecuencia para que no haya lugar al predominio de otra evolución edáfica autónoma. Un aluvionamiento accidental o que se interrumpe da lugar sólo a una etapa prematura del suelo, que evolucionará luego dentro del tipo que le corresponda. Pero cuando esta evolución se hace imposible por la persistencia del fenómeno geológico, que constituye así un factor permanente del medio, el suelo se mantiene indefinidamente con caracteres especiales que obligan a considerarlo en serie aparte.

El carácter de los suelos aluviales consiste pues en que, en su diferenciación estratigráfica, domina el fenómeno de sucesiva superposición sobre el metabolismo entre los horizontes. De aquí que, como el lavado se produce necesariamente de arriba a abajo, pero los nuevos aportes llegan por la parte superior, los niveles inferiores, por efecto del mayor tiempo que lo llevan soportando, pueden aparecer más lavados que los superiores, invirtiéndose así las apariencias en comparación con lo que ocurre en los suelos de acumulación profunda.

Así ocurre en el perfil Gr-3 que como ejemplo publicamos. Corresponde a la Vega de Granada y fué tomado en terrenos de la Granja Agronómica de aquella provincia. La calicata alcanzó a más de 160 centímetros de profundidad. Sin la intervención humana, la vega de Granada sería, como fué originariamente, un cascajar, en que las avenidas se llevarían de un golpe la mayoría de los elementos finos depositados en los

intervalos de fluencia lenta de las aguas. El hombre, con la práctica del encharcado, es decir, oponiendo diques a la velocidad de las grandes corrientes y conservando la tierra fina depositada en el remanso, ha corregido a través de los siglos la obra de la naturaleza, creando así una área de fertilidad excepcional. El cascajar natural aparece en nuestro corte bajo los 160 centímetros; mientras que toda la masa depositada encima es de aluviones finos, cuya diferenciación es escasa y en parte accidental.

CUADRO XXV

Ejemplo de suelo aluvial (Gr-3)

	NIVELES DE PERFIL		
	I	II	III
Na_2O (Sosa)	0'10	0,14	0,16
Ka_2O (Potasa)	0,35	0,30	0,08
MgO (Magnesia)	4,84	3,68	5,16
CaO (Cal)	11,14	8,59	10,90
MnO (Manganesa)	—	0,12	0,16
Fe_2O_3 (Sesquióxido de hierro)	3,33	4,87	3,12
Al_2O_3 (Alúmina)	1,92	1,20	0,89
SO_3 (Sulfúrico)	0,03	0,12	0,07
P_2O_5 (Fosfórico)	0,18	0,10	0,05
CO_2 (Carbónico)	10,60	6,17	9,40
SiO_2 (Sílice soluble)	5,59	5,44	3,59
TiO_2 (Titánico)	0,91	0,41	0,40
Residuo insoluble	55,77	61,23	61,15
Pérdida por ignición	5,45	7,36	5,54
TOTAL del extracto clorhídrico	100,21	99,73	100,67
Materia orgánica	1,79	0,77	0,89
Reacción (pH)	7,35	7,15	7,1

Sin embargo, si nos fijamos en las cifras; veremos acusarse el fenómeno de lavado invertido aparente antes expuesto. La suma total de elementos solubles o atacables por el clorhídrico es mayor en el nivel superior (de 0 a 40 centímetros) que en los inferiores, lo que aparece igualmente en el detalle de los elementos más importantes, como la cal, el carbónico y la alúmina. El suelo es, en general, rico en elementos por la complejidad del aporte, y de reacción básica por la proporción de los calizos. En estos aportes figura también materia orgánica, pero la fase agropédica a que se halla sometido el suelo, no permite

que ésta se acumule en grandes cantidades, como ocurriría si estuviese abandonado a la vegetación natural. Si esto se hiciera y el aporte de aluviones cesara, la vega de Granada se transformaría en un suelo de acumulación caliza, y por lo tanto rico en humus, y tomaría una coloración negruzca en vez de la gris que hoy la caracteriza.

Un ejemplo excepcionalmente importante de suelo aluvial lo ofrece toda la antigua área de inundación del Egipto, que es al propio tiempo el área histórica habitada.

No debe, sin embargo, identificarse sin distingos el concepto de «suelo aluvial» con el de «suelo de vega». La vega es un fondo o área baja que en su origen fué obra del río. Pero suele haber actualmente en las vegas españolas una parte viva, sujeta todavía a inundaciones, y una parte muerta, que sólo accidentalmente, y como fenómeno fugaz, vuelve a ser cubierta por las aguas. La parte viva seguirá siendo un suelo aluvial, en el sentido geológico como en el edafológico. Pero la parte muerta se halla en evolución hacia el tipo que por razones de litología, clima y demás factores le corresponda. En esta evolución podrá estar más o menos adelantada. En las primeras etapas y durante un cierto tiempo, podrá seguir predominando en sus caracteres el tipo aluvial; pero en otros casos se habrá podido ya diferenciar de él claramente. Esto quiere decir que los «suelos de vega» no constituyen, por el mero hecho de serlo, un tipo edafológico especial. A lo más podrían constituir una «fase» especial, pero aplicable a varios tipos. En el estudio del suelo, no debe pues prejuzgarse la tipología de las vegas con un criterio general, sino que es preciso estudiarlas una por una, lo mismo que los demás suelos.

En cuanto a los suelos sometidos a riego artificial, constituyen otra fase especialísima que tiende a alterar sus caracteres naturales.

Los suelos aluviales marítimos son salados en cuanto a su composición química, porque ésta es la naturaleza de los aportes que reciben. Pero son típicamente distintos de los suelos de la serie salina que hemos descrito con los nombres de solonetz y solonchak.

La fase agropédica, de tanta importancia práctica, da a los suelos ciertas características especiales, que ya hemos atrás

apuntado, dentro de la gran variedad que origina su diferente tipología; y para ella se han venido empleando, desde hace larguísimo tiempo, clasificaciones especiales, también enfocadas en sentido práctico.

Como estas clasificaciones se usan todavía, debemos dar idea de ellas.

En realidad las clasificaciones utilitarias de los suelos agrícolas se reducen a la clasificación, no de un perfil, sino de un nivel, el de la capa arable, como si fuera una entidad uniforme y parte única del suelo. Ya hemos dicho que, siendo la capa arable un producto antropógeno, no coincide necesariamente con un horizonte natural. Lo mismo puede estar formada por el horizonte A, que, si el suelo está decapitado, por un horizonte de acumulación de sesquióxidos, de caliza o de elementos alíticos, o por la misma roca madre cuando ésta es detrítica, o por elementos de horizontes distintos, más o menos mezclados. Pero, a la larga, el efecto de las labores, y tanto más cuanto más intensivo es el cultivo, acaba por hacer de la capa arable un estrato más o menos homogéneo y claramente diferenciado. Aun así no debe desdeñarse el tipo natural del suelo, porque de éste dependerá la naturaleza de la misma capa arable que se haya formado y la influencia que puedan tener las subyacentes. De aquí la necesidad de clasificaciones modernas que enlacen los puntos de vista agronómico y tipológico, ambos importantes. Pero estas clasificaciones constituyen todavía ideales en los cuales se trabaja y no en todas partes por igual.

El tipo tradicional de clasificación agropédica se refiere al horizonte de cultivo o suelo agrícola, y se funda en el resultado del análisis fisicoquímico, tomando de él la composición mecánica, la proporción de caliza y la de humus o materia orgánica. Como en la composición mecánica se toman en cuenta desde los elementos gruesos hasta la fracción arcillosa, en aquéllos va acusado el carácter esquelético que el suelo pueda tener, y en la fracción arcillosa va envuelta la proporción del complejo coloide mineral. Así los elementos cuya elaboración, lavado y acumulación nos han servido para caracterizar la mayoría de las series tipológicas (humus, caliza, coloides minerales) son en cierto modo tomados en cuenta. Faltan sin embargo en el sistema los elementos característicos para calificar los suelos sa-

linos y los yesosos: uno de los motivos por los cuales esas clasificaciones necesitan perfeccionarse.

Las escalas de clasificación, para cada uno de los elementos, varían de un país a otro, y con ellas el valor de las denominaciones adoptadas.

En Alemania, por lo menos en Prusia, se sigue la antigua clasificación de Thaer, modernizada.

En la composición mecánica se llama:

Grava a la fracción de diámetro > 2 milímetros.

Arena a la comprendida entre 2 y 0,02, subdividiéndola en:

Arena gruesa: de 2 a 0,2 milímetros.
Arena fina: de 0 2 a 0,05 milímetros; y
Arenilla: de 0,05 a 0,02 milímetros.

Arcilla (nombre en este caso impropio y convencional) a la fracción de diámetro $< 0{,}02$ mm.

Las divisiones fundamentales en la clasificación del suelo por su composición mecánica son, en este sistema, las siguientes:

Proporciones	Clasificación	Abreviaturas
a) Grava > 20 °/₀	Grava	G
b) Grava < 20 °/₀		
α) Arcilla < 5 °/₀	Arena	S (1)
β) » de 5 a 10 °/₀	Arena limosa	L S
γ) » de 15 a 25 °/₀	Limo arenoso	S L
δ) » > 25 °/₀	Limo	L

A esto se añaden, para las subdivisiones, una serie de detalles que complican grandemente el sistema. Si la grava figura en proporción del 5 al 20 °/₀, se añade a la clasificación el calificativo de «cascajoso». Si los elementos gruesos faltan en absoluto, las últimas denominaciones se substituyen respectivamente por las de:

Arena arcillosa. . . (T S) (2)
Arcilla arenosa. . . (S T)
Arcilla . . . . . (T)

Por fin, para afinar más el matiz, se superponen a las iniciales los signos — y ∪, que significan «fuertemente» y «débilmente».

(1) En alemán *arena* = *Sand*.
(2) T S = Toniger Sand, S T = Sandiger Ton, Ton = arcilla.

Para la caliza rige la siguiente escala:

Proporción de caliza	Clasificación	Abreviaturas
2 a 10 °/₀	Suelo margoso	K
10 a 30 »	Marga	M
> 30 »	Suelo calizo	K

La proporción de caliza inferior al 2 °/₀ no se toma en cuenta. Para el humus se clasifica como sigue:

Proporción de humus	Clasificación	Abreviaturas
1 a 2 °/₀	Suelo débilmente humífero	$\breve{H}$
2 a 4 »	» humífero	H
4 a 10 »	» fuertemente humífero	$\overline{H}$
> 10 »	» de humus	

Para los suelos limosos y arcillosos se doblan los tantos por ciento. Así, para un suelo con el 12 °/₀ de humus, el calificativo no será el de la cuarta categoría, sino el de la tercera; y si se trata de un suelo de arcilla, éste se denominará «arcilla fuertemente humífera».

Si, además de faltar la grava, las fracciones arenosas dominantes son las de arena fina y arenilla, la inicial S se expresa en caracteres germánicos, 𝔖, v.g., T𝔖, arenilla arcillosa. Si la proporción de arenilla es de 30 a 60 °/₀, se tiene el loess, que se indica por ele en caracteres germánicos 𝔏.

Aunque este sistema es, en cuanto a la composición mecánica, menos sencillo de lo que pudiera ser, el sistema de abreviaturas es muy práctico para la cartografía. He aquí algunos ejemplos:

$\breve{H}$ T 𝔖 = Arenilla arcillosa ligeramente humífera.
$\overline{H}$ S L = Limo arenoso fuertemente humoso.
H M L = Marga limosa humífera, etc.

En las estaciones agronómicas de Suiza se ha introducido, desde 1920, un sistema de clasificación de sencillez excesiva:

Proporciones de los componentes	Clasificación
Fracción < 0,01 mm. > 50 °/₀	Suelo arcilloso
» » de 50 a 20 »	Suelo limoso
» » < 20 »	Suelo arenoso
Caliza de 20 a 40 °/₀	Suelo margoso
» » > 40 »	Suelo calizo
Humus superior al 20 °/₀	Suelo turboso o de turba

Naturalmente, estos conceptos se pueden combinar como en la clasificación alemana.

Antes de la fecha citada se usaba en Suiza una clasificación más detallada, que nos parece preferible, por lo menos para aplicarla a la Región Mediterránea.

Para la composición mecánica utilizaba la división de Kopecky simplificada:

Proporción centesimal de las fracciones			
I < 0,01 mm.	II De 0,01 a 0,05 mm.	III-IV > 0,05 mm.	Clasificación del suelo
> 75	—	< 20	1 Fuertemente arcilloso
60—75	20±	< 20	2 Arcilloso
50—60	20±	< 30	3 Limoso-arcilloso
40—50	20—40	< 30	4 Arcilloso-limoso
20—45	30—50	< 30	5 Limoso
20—40	20—40	> 30	6 Arenoso-limoso
10—20	10—30	> 50	7 Limoso-arenoso
< 10	10—20	> 50	8 Arenoso

Para la caliza y el humus regían las siguientes gradaciones:

Proporción centesimal de caliza	Clasificación del suelo
2 a 5	Débilmente margoso
5 a 20	Margoso
20 a 40	De marga
> 40	Calizo

Proporción centesimal del humus	Clasificación del suelo
0 a 2	Pobre en humus
2 a 5	Débilmente humífero
5 a 10	Humífero
10 a 20	Subturboso
> 20	Turboso

Ejemplos de clasificación:

Proporciones centesimales		
Frac. I	= 25 %	
» II	= 29 »	
» III + IV	= 31 »	Limo arenoso sub-turboso
Ca CO_3	= 0 »	
Humus	= 15 »	

Frac. I	= 22 »	
» II	= 34 »	
» III + IV	= 11 »	Marga limosa humífera
Ca CO_3	= 25 »	
Humus	= 8 »	

Mas para la Región Mediterránea y otras xerófitas sería indispensable añadir calificativos para las proporciones de yeso y sales solubles. Y para todos los países tomar también en cuenta alguno de los índices de Hissink o por lo menos los valores de pH, aun cuando sólo fuera clasificados en las tres categorías de ácido (pH $<$ 6), medio (pH $=$ 6 - 7) y básico (pH $>$ 7).

Del estado actual de la Ciencia del Suelo, del que este libro sólo ha pretendido dar una idea, precisamente a los no técnicos, de la rapidez con que progresa y de la perfección de métodos a que ha llegado, se desprende que, considerada la extensión de suelos de un Estado como un patrimonio de interés nacional, cualquiera que sea el régimen civil implantado, la administración pública de este patrimonio es susceptible, en bien de todos, de un perfeccionamiento científico al que muchos Estados se encaminan, pero al cual otros, no escasos, parecen mostrarse reacios. La única causa de esta resistencia al progreso es la ignorancia y la pereza, pues sólo de éstas nace el miedo a las innovaciones.

No estar atrasado en esta materia supone la realidad de los siguientes puntos:

- Tener instituciones centrales y especiales de Edafología, bajo dirección competente (en el sentido científico, no burocrático) y dotadas de los medios necesarios para hacer los mismos trabajos que puedan realizarse en cada país.
- Que estas instituciones de alta cultura y las ramificaciones por las cuales llegue su influencia hasta el último pegujal, se hallen a cubierto de las veleidades y perturbaciones de la política.
- Contar con bibliotecas completas sobre la materia, dotadas de presupuesto adecuado para que puedan mantenerse al día.
- Tener organizada con funcionamiento normal la colaboración activa de los especialistas en las diferentes comisiones y subcomisiones de la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo.
- Enviar representación adecuada (es decir, de investigadores serios, no de figuras decorativas ni vividores) a todas las reuniones científicas internacionales relacionadas con la Edafología (que son varias por año).

> Ajustar los métodos oficiales de análisis de tierras a la última palabra de la ciencia.

> Tener hecha la clasificación tipológica y agropédica de las diferentes modalidades de suelos, y los mapas edafológicos del país, así generales como especiales a gran escala; y mantenerlos al día.

> Repartir estos mapas, de modo que en cada ayuntamiento se conozca científicamente por ellos el partido municipal, y se tenga una idea, por el general, de la edafología de todo el Estado.

> Distribuir el suelo nacional, para su explotación (agrícola, ganadera, forestal, etc.), de acuerdo con las enseñanzas de esta ciencia, siendo por lo tanto especialistas en ella los que deben dirigir (siempre independientemente de los vaivenes políticos) esta rama de la administración pública.

> Fundar en la Ciencia del Suelo el Catastro rural; y supeditar a las enseñanzas de la misma el régimen jurídico relativo al uso del factor rural.

Ahora corresponde a cada lector juzgar el nivel a que se halla su respectivo país en este aspecto tan esencial de la civilización, y ver lo que puede poner de su parte para elevarlo.

Madrid, diciembre, 1929.

ÍNDICE

	Págs.
INTRODUCCIÓN.	1
CAPÍTULO PRIMERO. — *El Suelo y la Ciencia del Suelo.* . . .	3
CAPÍTULO II. — *Los componentes del Suelo.*	17
CAPÍTULO III. — *El análisis químico.*	54
CAPÍTULO IV. — *La reacción y la presión osmótica.* . . .	108
CAPÍTULO V. — *Biología del suelo.*	133
CAPÍTULO VI. — *El análisis físico y mecánico.*	153
CAPÍTULO VII. — *Física del suelo.*	183
CAPÍTULO VIII. — *Clasificación de los suelos.*	204

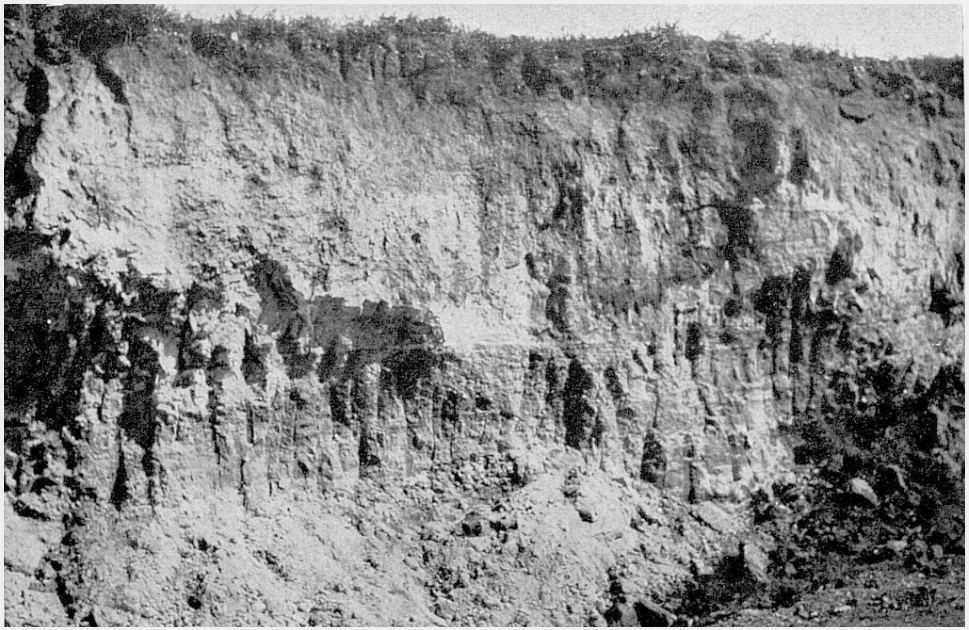
APÉNDICE

Lista de los cuerpos simples con sus respectivos símbolos y pesos atómicos

CUERPOS	SÍMBOLOS	PESOS ATÓMICOS
Aluminio	Al	26,97
Antimonio	Sb	121,8
Argón	Ar	39,88
Arsénico	As	74,96
Azufre	S	32,07
Bario	Ba	137,4
Berilio	Be	9,02
Bismuto	Bi	209,0
Boro	B	10,82
Bromo	Br	79,92
Cadmio	Cd	112,4
Calcio	Ca	40,07
Carbono	C	12,00
Casiopeo	Cp	175,0
Cerio	Ce	140.2
Cesio	Cs	132,8
Cloro	Cl	35,46
Cobalto	Co	58,97
Cobre	Cu	63,57
Criptón	Kr	82,9
Cromo	Cr	52,01
Disprosio	Dy	162, 5
Emanación	Em	222
Erbio	Er	167,7
Escandio	Sc	45,10
Estaño	Sn	118,7
Estroncio	Sr	87,6
Europio	Eu	152,0
Flúor	F	19,00
Fósforo	P	31,04
Galio	Ga	69,72
Gadolinio	Gd	157,3
Germanio	Ge	72,60
Hafnio	Hf	178 6
Helio	He	4,00
Hidrógeno	H	1,008
Hierro	Fe	55,84
Holmio	Ho	163,5
Indio	In	114,8
Iodo	I	126,92

CUERPOS	SÍMBOLOS	PESOS ATÓMICOS
Iridio	Ir	193,1
Iterbio	Yb	173,5
Itrio	Y	89,0
Lantano	La	138,9
Litio	Li	6,94
Magnesio	Mg	24,32
Manganeso	Mn	54,93
Mercurio	Hg	200,6
Molibdeno	Mo	96,0
Neodimio	Nd	144,3
Neón	Ne	20,2
Niobio	Nb	93,5
Níquel	Ni	58,68
Nitrógeno	N	14,008
Oro	Au	197,2
Osmio	Os	190,9
Oxígeno	O	16.000
Paladio	Pd	106,7
Potasio	K	39,10
Praseodimio	Pr	140,9
Plata	Ag	107.88
Platino	Pt	195,2
Plomo	Pb	207,2
Radio	Ra	226,0
Rodio	Rh	102 9
Rubidio	Rb	85,5
Rutenio	Ru	101,7
Samario	Sm	150.4
Selenio	Se	79,2
Silicio	Si	28,06
Sodio	Na	23.00
Talio	Tl	204,4
Tántalo	Ta	181,5
Telurio	Te	127,5
Terbio	Tb	159,2
Titanio	Ti	48,1
Torio	Th	232,1
Tulio	Tu	169,4
Uranio	U	238,2
Vanadio	V	51,0
Wolframio	W	184,0
Xenón	X	130,2
Zinc	Zn	65,37
Zirconio	Zr	91,2

SUELO XERO-TURBOSO MADURO



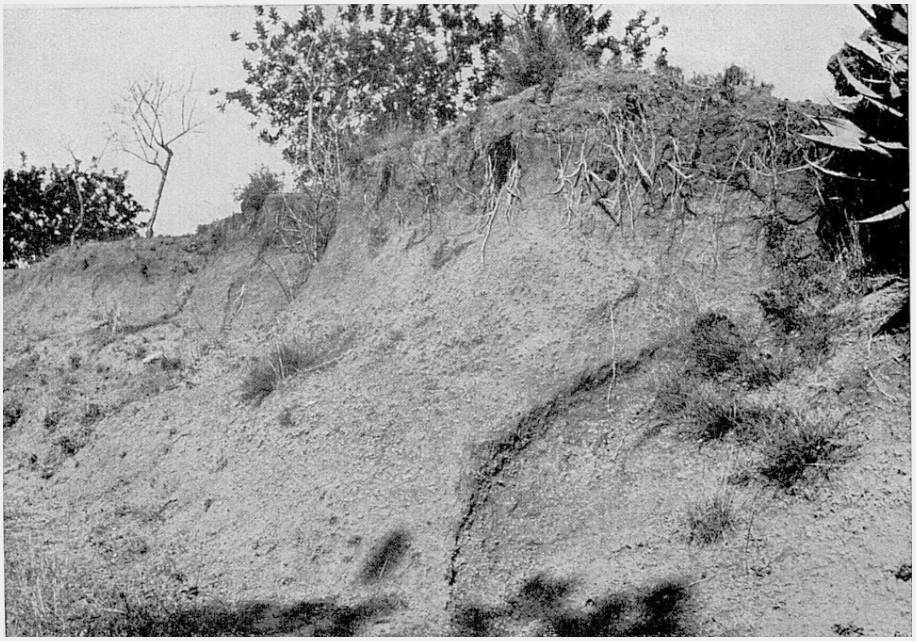
Perfil *Lu-1:* entre Aranga y Guitiriz (provincia de Lugo). Los horizontes S y I forman la capa superior de tierra negra ácida: en los niveles II y III se aprecian las filtraciones en sentido vertical; y más abajo las líneas horizontales del nivel de *glei.*

Perfil *Md-52:* encinar del Pardo (provincia de Madrid). La banda más obscura es el nivel II (B): encima, el horizonte superficial (A); debajo, sucesivamente los dos niveles de la terraza cuaternaria III y IV, que componen el horizonte C.

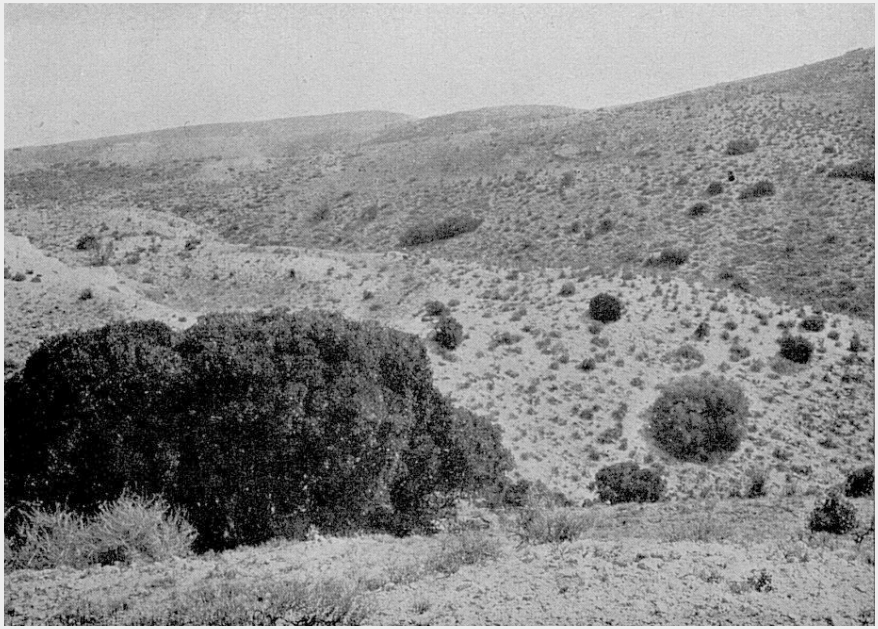
SUELO DE RENDZINA

Perfil *Ct-1:* monte de San Juan, de *Pinus halepensis,* cerca de Segorbe (provincia de Castellón). El suelo *stricto sensu* u horizonte A forma una masa de tierra negruzca con concreciones calizas que aumentan con la profundidad. El tránsito al substrato calizo se hace mediante una zona en que la roca aparece fragmentada mezclándose con la tierra negra.

SUELO DE CALVERO



Perfil *Md-101:* cerros del Piul: substrato muy somero de caliza miocena (provincia de Madrid). Consocies de *Quercus coccifera*. Bajo las coscojas el horizonte A alcanza un 6,12 por 100 de materia orgánica; y en las calvas la proporción resulta ser de 1,49 por 100, aunque la costra superficial les da apariencia más desértica.



Perfil *Md-101:* cerros del Piul: substrato muy somero de caliza miocena (provincia de Madrid). Consocies de *Quercus coccifera*. Bajo las coscojas el horizonte A alcanza un 6,12 por 100 de materia orgánica; y en las calvas la proporción resulta ser de 1,49 por 100, aunque la costra superficial les da apariencia más desértica.

SUELO SALINO O ALCALINO: TIPO «SOLONCHAK»

Perfil *Zg-3:* al S. de Bujaraloz en el llano de los Monegros (provincia de Zaragoza). La mayor parte del perfil visible está ocupada por los horizontes II y III, bien discernibles, por la diferencia de estructura superficial, en la fotografía: el IV *no hace más que* asomar en el fondo, sobre la sombra. El I se acusa principalmente en la pared fronteriza de la calicata.

Perfil *Gr-3:* Vega de Granada, suelo cultivado de regadío. Una incisión horizontal señala en la fotografía la división entre los niveles I y II de las muestras analizadas, que componen entre ambos la masa de aluviones finos. El nivel inferior, de aluviones gruesos, asoma en el fondo.

Salvat Editores, S. A. - BARCELONA BUENOS AIRES

Agricultura general

por

P. Diffloth

Ingeniero agrónomo; Profesor especial de Agricultura

Segunda edición

I.—Suelo y mejoramiento de las tierras

Un tomo en octavo, de 442 páginas e ilustrado con 132 grabados.

II.—Labores y rotación de cultivos

Un tomo en octavo, de 420 páginas e ilustrado con 152 grabados.

III.—Siembras y cuidado de los cultivos

Un tomo en octavo, de 388 páginas e ilustrado con 147 grabados.

IV.—Cosechas y conservación de los productos agrícolas

Un tomo en octavo, de 352 páginas e ilustrado con 181 grabados.

La benévola acogida que el público agrícola hispanoamericano hubo de dispensar a la primera edición de esta obra, agotada en breve tiempo, ha animado al autor a ampliar el primitivo marco de la misma. Atendiendo consejos autorizados, y en vista de los deseos manifestados por los prácticos, ha dividido el estudio de la *Agricultura moderna* en cuatro tomos distintos.

Para hacer más atractiva la lectura de todos los capítulos de la obra y facilitar la comprensión de las cuestiones consideradas, se han adornado los tomos con una ilustración tan abundante como variada.