

LA CLOROFILA EN LA INDUSTRIA QUIMICO-FARMACEUTICA

por el

D R . G I L M O N T E R O

Ingeniero químico

Los estudios sobre la clorofila han adquirido una importancia excepcional en Inglaterra y Norteamérica, donde se multiplican los experimentos, que han demostrado cómo, además de su función maravillosa en el interior de los vegetales, transformando anualmente en azúcar y oxígeno 16.000 millones de toneladas de CO_2 , tiene otras propiedades interesantísimas, que la elevaron a la categoría de importante materia prima en las industrias químicas. A su acción como agente catalizador, o más bien seleccionador, de radiaciones luminosas, hay que añadir sus propiedades como antiséptico, cicatrizante y desodorante, de variadas aplicaciones.

En los Estados Unidos hay más de 50 empresas, recientemente creadas, que fabrican y venden más de un centenar de productos en los que entra la clorofila. Son unas veces preparaciones farmacéuticas y cosméticas, dentífricos, lociones desodorantes, productos para purificar la atmósfera, goma de mascar, etc. Otras veces, la clorofila se incorpora a los artículos más heterogéneos, como plantillas para el calzado, sobaqueros para combatir el olor del sudor y otros muy variados, habiéndose llegado a tales excesos en la propaganda de virtudes más o menos reales, que en una de las conferencias organizadas en París por la Sociedad Francesa de Cosmetología, en octubre de 1952, el doctor W. Mitchell, de Londres, llamó la atención sobre la conveniencia de controlar los excesos de la propaganda.

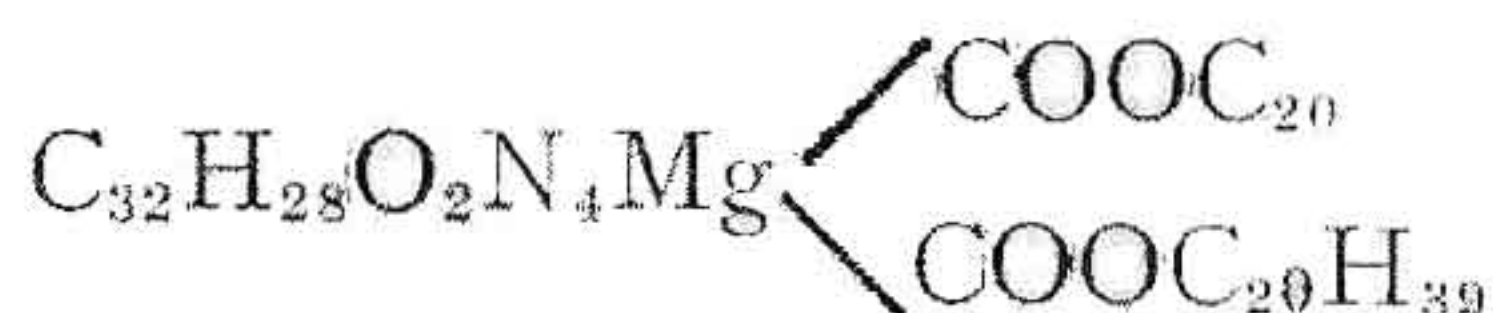
Estudiada la clorofila desde el año 1881 por Borodin, no se logró aislarla hasta el 1893, en que Monteverde obtuvo pequeñas cantidades, y años más tarde, en 1907, obtuvieron mayores cantidades Wills-täter y Benz. Se halla en los cloroplastos de los vegetales, y no es propiamente una especie química, sino una mezcla de cuatro pigmentos: la clorofila *a*, la clorofila *b*, la carotina y la xantofila, constitu-

yendo el conjunto una sustancia cristalina, insoluble en agua, soluble en alcohol, éter, benceno, cloroformo y ácidos grasos. No tiene punto de fusión determinado, es de reacción neutra y presenta algunas analogías con la hemoglobina, según descubrió el año 1916, en Suiza, el doctor Burgui, que la empleó en el tratamiento de ciertas anemias, iniciando una serie de aplicaciones terapéuticas, cada vez más amplias. Por oxidación produce, como aquélla, el ácido hematínico. Según demostraron los trabajos de R. Wellstätter, premio Nóbel de Química, es un diéster de metanol y fitol, con un ácido de estructura complicada.

La clorofila *a*, de color verde azulado y fórmula

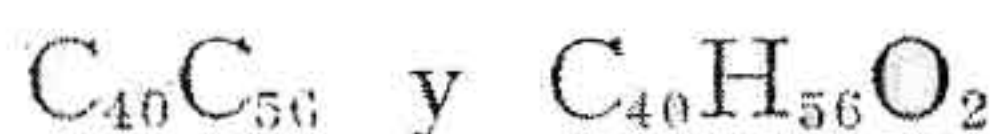


entra en la proporción de un 70 a un 75 por 100; la *b*, de color verde amarillento y fórmula



existe en un 25 por 100 aproximadamente, pero se mezclan en proporciones variables, tal vez según la intensidad de la luz y la resistencia que a su paso opone la distinta estructura de hojas y tallos en cada especie, determinando los diferentes matices del verde de éstas. Por eso, en las primeras investigaciones de Etard, parecía deducirse la presencia en las plantas de distintas clorofilas.

La carotina, o provitamina A, de color anaranjado, y la xantofila, de color amarillo y composición análoga a la luteína de la yema de huevo, tienen por fórmulas respectivas:



Difieren, como se ve, en el contenido de oxígeno, y la primera mantiene el equilibrio entre las dos clorofilas, pues en el momento de la asimilación clorofílica, el oxígeno transforma la *a* en *b*; la carotina, apoderándose del oxígeno de la *b*, la convierte en *a*, transformándose, a su vez, en xantofila y pasando después, según supone Baly, a carotina, mediante la misma influencia de la luz, que acentúa la tensión disociante del oxígeno de la xantofila, restableciendo el equilibrio.

Si se mezcla una disolución alcohólica de clorofila con petroleína, se produce una doble reacción, en la que aquélla cede a ésta la *cianofilina*, azul, formándose en aquélla *fitoxantina*, verde por transparencia y roja por reflexión. Los álcalis desdoblan la clorofila en fitol ($C_{20}H_{33}OH$), que es un alcohol monovalente con un enlace—y a ese alcohol se debe el carácter lipoide de la clorofila—y clorofilinas *a* y *b*, cuyas fórmulas respectivas son:



Pero, además de esa clorofila liposoluble, que tiene aplicaciones propias, como después veremos, hay un complejo clorofílico hidrosoluble.

El átomo de magnesio está unido por enlaces coordinativos a un soporte coloidal, de naturaleza albuminoide, según Lubimenko, A. Stoll y E. Wiedmann, constituyendo un cromoproteido, que ellos llamaron *cloroplastina*, y que representa un holofermento o complejo resultante de la unión de la clorofila, como cofermento, y la albúmina, como apofermento o soporte coloidal de aquélla.

El citado complejo hidrosoluble se obtiene mediante un largo y complicado proceso químico, en el que, por tratamiento con ácidos diluídos, se separa de ella magnesio, dando lugar a las feofitinas *a* y *b*. Al mismo tiempo, un átomo de Mg es sustituido por uno de Cu, dando lugar a un nuevo producto que tiene aplicaciones particulares y sigue siendo liposoluble. La hidrosoluble se obtiene neutralizando la acidez con sodio, lo que da lugar al complejo sodio-cobre-clorofila, que es el que más se emplea con este nombre. En Inglaterra y Norteamérica la obtienen en cantidades inmensas, a partir de la alfalfa, que rinde unos dos kilos por tonelada, resultando hoy en dichos países a 65 libras y a 190 dólares, respectivamente, el kilo. Se dedican a su producción grandes capitales, que han ido elevándose desde que, el año 1946, se observaron en la guerra mundial sus efectos en el tratamiento de heridas graves, y el Consejo de Farmacia y Química de la Asociación Médica Americana reconoció y proclamó el valor de la clorofila como cicatrizante, en disolución, por vía bucal o aplicación local.

Sin embargo, todavía se produce allí en cantidad insuficiente para el consumo interior y tienen que importarla de Inglaterra. En el

año 1951, la producción norteamericana fué de 60.000 libras; en 1952, se elevó a 95.000, y actualmente hay en construcción nuevas fábricas, una de las cuales, la National Chlorophyll and Chemical C.^o, recién terminada en Lamar (Colorado), que será la mayor del mundo, piensa producir más de 100.000 libras anuales. En el año 1946 se dedicaban a esa industria sólo 6.000 dólares; en 1951, el capital empleado se elevó a 22 millones; en 1952, ascendió a 50, y hoy, sólo en la fábrica citada, se ha gastado un millón de dólares.

En Francia, en octubre último, organizó la Sociedad Francesa de Cosmetología una serie de conferencias relativas a la clorofila, y 300 químicos franceses asistieron al Symposium Internacional de la Chlorophile, demostrando el gran interés que se concede a este producto en el país vecino, donde empieza a emplearse en grandes cantidades, importándola de los Estados Unidos y pagándola a 70.000 francos el kilogramo.

LA CLOROFILA EN LA NATURALEZA

En las plantas no se encuentra nunca la clorofila en estado de pureza, sino en unión de esencias y albuminoides, formando parte de unos corpúsculos microscópicos, llamados "granos de clorofila", tan pequeños, que a veces hay más de 50 por célula, y que han sido considerados por el fisiólogo alemán Friedenthal como seres vivos, ligados por simbiosis a la planta. Las hojas de una de éstas, que haya sido sustraída desde su nacimiento a la luz del sol, son pálidas y amarillentas; pero expuestas a las radiaciones solares adquieren pronto su color verde característico. Por el contrario, si una planta de desarrollo normal es retirada de la luz solar, palidece al cabo de cierto tiempo, hasta blanquear, como los tallos de algunas hortalizas que se entierran con ese fin, lo cual parece comprobar la hipótesis de Friedenthal de que sea, en efecto, la clorofila un ser vivo, que muere lejos del influjo vivificador de la luz, o bien sometida a alta temperatura o a desecación prolongada.

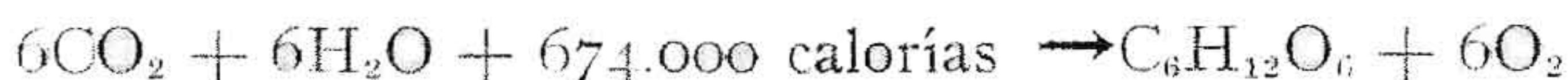
La acción fotoquímica de la clorofila, que determina la asimilación del CO_2 de las plantas iluminadas por el sol, se ha atribuído a un efecto catalizador del Mg., que, como hemos visto, entra en aquélla en combinación orgánica compleja, que es cuando tiene mayor actividad reactiva, según demostró Grignard con distintas operaciones de síntesis. La clorofila hace crecer la intensidad de las radiaciones

solares hasta un punto óptimo, a partir del cual empieza a descender, y cuando falta, mengua de tal modo la intensidad de esas radiaciones, que la formación de azúcar decrecería hasta ser insuficiente para el desarrollo de la planta. En 1927 se hicieron en Upsala (Suecia) unas experiencias, luego repetidas en Inglaterra y Norteamérica, consistentes en iluminar con lámparas eléctricas, llenas de gas inerte, un trozo de invernadero, previamente aislado del calor y de la luz solar y dotado de calefacción eléctrica, advirtiéndose que el follaje de las plantas, iluminadas a razón de 15 a 30 bujías por pie, oscurecía, revelando el aumento de clorofila producida al aumentar la luz.

LA FUNCIÓN CLOROFÍLICA EN LABORATORIO

La función clorofílica ha sido estudiada y reproducida en laboratorio empleando clorofila en disolución alcohólica para un experimento muy conocido: si se hace pasar un rayo luminoso a través de esa disolución para incidir luego sobre un prisma, se obtiene el espectro correspondiente, en el que se observarán varias fajas oscuras, correspondientes a las vibraciones absorbidas por la clorofila, que transforma en energía química la luminosa. Colocando en toda la extensión del espectro varios tubos de ensayo con agua carbónica y sumergiendo en ellos unas hojas de bambú, se observará que de las situadas en las fajas oscuras del espectro se desprenden, con más o menos intensidad, burbujas de oxígeno, siendo más abundantes en el tubo correspondiente a la faja de absorción situado en el rojo; es decir, que la energía química que dió lugar a la reducción del gas carbónico, con el consiguiente desprendimiento de oxígeno, procede de las vibraciones luminosas absorbidas y transformadas en energía química por la clorofila, cuya función, en este caso, consistió, sencillamente, en aislar las radiaciones de longitudes de onda comprendidas entre 5.700 A. y 6.400 A., utilizando la energía que llevan consigo para descomponer el anhídrido carbónico en carbono y oxígeno. Y, conseguida en laboratorio la función clorofílica, se ensayó la síntesis de los hidratos de carbono. Bayer, en 1870, consideraba como generador de ellos al metanal, o aldehído fórmico, por la facilidad con que se polimeriza en medio alcalino, si bien, a causa de su poca estabilidad, apenas formado en los vegetales sufre transformaciones. Pero más tarde fué desechada esa hipótesis, suponiéndose que los

hidratos de carbono se forman directamente, según la reacción siguiente:



y que las 674.000 calorías necesarias las toma la clorofila de la luz solar, absorbiendo las radiaciones citadas y aprovechando hasta el 70 por 100 de esa energía. Por eso no ha sido posible hallar en las hojas metanal, aunque se encontraron sus derivados más estables: el metanol y el metanoico. Es decir, que la glucosa se forma directamente; perdiendo una molécula de agua, da lugar al almidón, que, polimerizado, a su vez, constituye la celulosa. De la sacarosa se deriva, por pérdida de una molécula de agua, la inulina de las dalias, y análogo es el origen de la fructuosa, dextrina, etc., según reacciones tan conocidas, que no hay para qué detenerse en su exposición, y en las cuales siempre desempeña la clorofila el mismo papel seleccionador de las radiaciones solares apropiadas. Por esto ha sido posible prescindir de ella en muchas operaciones de síntesis químicas, pues, conocido el porqué de su actuación, puede reemplazársela empleando procedimientos más baratos y expeditos para el trabajo y más susceptibles de industrialización.

Desde que Willstätter creó la química de la clorofila, se han distinguido en su estudio, en Norteamérica, Ridpath, Davis, Raap, Serling, Gurney, Wescot y otros; en Inglaterra, el citado Mitchell; en Holanda, Dijkstra, y otros hombres de ciencia en distintos países, poniendo de manifiesto nuevas e interesantes propiedades terapéuticas de la clorofila en estado natural o convenientemente preparada, que han sido base de numerosas aplicaciones. Para esto se extrae de las plantas en mayor o menor estado de pureza, según la aplicación que haya de dársele. Para la experimentación se obtenía en pequeñas cantidades, tratando hojas de dalia, espinaca u otra especie que la contenga en abundancia, con alcohol de 95°, y filtrando después, para obtener, por evaporación, unos cristallitos de color verde amarillento que, lavados ligeramente con agua y bencina, quedan de un bello color verde, con reflejos azulados. Para obtenerla más pura se fija en negro animal la materia colorante así extraída, se trata el negro con éter y, evaporando lentamente en la oscuridad, se separa de la disolución verde la clorofila, cristalizada en forma de agujas quebradizas, de intenso color verde, que se alteran por la luz, lo que aconseja hacer las operaciones con la mayor rapidez y al abrigo del aire

y de la luz, para evitar las profundas alteraciones que sufriría a causa de sus enérgicas propiedades reductoras. Así se obtienen de seis a ocho gramos por kilogramo de hojas.

POSIBILIDADES TERAPÉUTICAS

Deste tiempos remotos se empleaba la clorofila, más o menos conscientemente, en emplastos de hojas trituradas, aunque actuaba de incógnito, por decirlo así, acompañando a otras sustancias vegetales de propiedades medicinales más conocidas. En 1916 la usó Bugui en el tratamiento de la anemia, y más tarde, comprobando su acción estimulante en el desarrollo del tejido epitelial, la empleó en el tratamiento de heridas y úlceras. Willstätter observó, en 1923, que la clorofila que se ingiere con los alimentos vegetales no se asimila, por estar encerrada en una molécula proteica inatacable por los jugos digestivos, y esto dió origen a una terapéutica aplicada a la anemia perniciosa, las heridas, el cáncer y la tuberculosis. En 1930, los doctores Edelman y A. Lorenzi advirtieron en la clorofila propiedades cardiotónicas que facilitan el trabajo del corazón, estimulando la concentración arterial, dilatando los vasos periféricos y haciendo de ella un excelente medicamento contra las hipotenciones esenciales, según ha sido comprobado con experiencias clínicas en Alemania y países escandinavos.

Willy Helpach atribuye a la clorofila, actuando desde las partes verdes de los vegetales, ese efecto sedante, bien conocido, que se siente entre las superficies verdes, y que tal vez se intensifica por la acción de ciertas radiaciones que llevan su influjo, a través de la piel, a todo el sistema nervioso. En la guerra mundial se consiguieron curas sorprendentes en heridas, quemaduras, dermatosis, etc., extendiéndose su uso a partir del año 1940.

Los doctores G. W. Bapp y B. F. Gurney, de Chicago, comprobaron la acción microbicida que ejerce sobre el estreptococo, los estafilococos blanco y dorado, el *lactobacillus acidophilus* y otros. En 1943, Wescott observó que los olores que la vitamina B₁ y algunos alimentos comunican a la orina se atenuaban en los pacientes que ingerían clorofila. Al mismo tiempo, en el Winter General Hospital, Bowers la empleaba en el tratamiento de fracturas acompañadas de osteomielitis y en la curación de llagas abiertas, de las que desaparecía pronto el olor, lográndose una cicatrización rápida, según comprobó también

Gruskin en heridas supurantes. Más tarde, se comprobó que su acción antiséptica no es bactericida, sino bacterioestática, y tan enérgica que, según se observó el año 1952 en el Hahnemann Medical College, supera a la penicilina y diferentes sulfamidas en velocidad de cicatrización, afirmando Dissmann e Iclaner que los efectos bacterioestáticos de la clorofila hidrosoluble sobre los tuberculosos son comparables a los de la estreptomicina. En Filadelfia, P. Robert Ridpaht y T. Corral Davis la aplicaron en compresas para distintas afecciones de las vías bucales; por sus propiedades cicatrizantes, que se intensifican asociándola a las vitaminas A y D, se emplea en pomadas para el tratamiento de heridas y distintas afecciones de la piel: en Francia se prepara en grageas, pomadas y pastas dentífricas, y en los Estados Unidos se preparan unos cigarrillos "a la clorofila", de pretendidos efectos protectores de garganta y bronquios, y son tan numerosos y variados los fármacos que en una u otra forma la contienen que se les dedica un espacio aparte en los escaparates y anaqueleros de las farmacias, aunque en muchas de esas preparaciones la actuación de la clorofila es puramente nominal o "decorativa" por las dosis pequeñísimas en que la contienen o por actuar sólo como colorante para prestigiar algunos productos.

PROPIEDADES DESODORANTES

De los efectos bacterioestáticos de la clorofila se derivan también sus propiedades desodorantes, que se observaron primeramente en heridas infectadas, llagas supurantes y hasta lesiones cancerosas con intensa descomposición de tejidos, cuando se empleaba sólo como cicatrizante. Wescott observó una moderación en el olor del sudor humano, en las caries dentarias, en el aliento de bebedores y fumadores y en distintas especies químicas, como el bencilmercaptán, el ácido tioglocólico, la trietilamina, etc., empleando para medir la intensidad odorífica el osmoscopio de Fair y Wells; Killijan comprobó, añadiendo clorofila al sudor fresco, que éste permanecía invariable, demostrando que su acción era debida a la detención de la actividad bacteriana que le hace fermentar. Pero no halló en él trazas de clorofila cuando ésta había sido ingerida por vía oral. En 1950, Serling advirtió que, ingerida por los perros, hacía disminuir notablemente el olor de su cuerpo y boca, hasta el punto de despistar alguna vez a los de olfato más acreditado en la busca de la hembra.

Los efectos de los ácidos sobre la clorofila, haciéndola perder magnesio y convirtiéndola así en feofitina, determinan sobre los mercaptanes, por su carácter débilmente ácido, una reacción de la que resulta un efecto desodorante, bien manifiesto en la disminución del olor de las coles en cocción; por su gran poder oxidante actúa sobre los sulfuros y otros compuestos azufrados, destruyendo su fetidez.

En la higiene bucal se emplea para moderar la halitosis, retardar el desarrollo de las caries y tratar las piorreas. Tiene también energías propiedades neutralizantes de otros olores desagradables de carácter ácido, según descubrió el ya citado doctor Wescott, determinando esto su aplicación como tal en una serie de preparaciones químico-farmacéuticas que se multiplican de día en día, justificando y superando la opinión del holandés Dijkstra, que proclamó la clorofila desodorante universal para los olores humanos.

Sus antiguas aplicaciones en la forma liposoluble como colorante que un día fué menospreciado frente a los de otro tipo de productos químicos, se han ampliado notablemente y se ha vuelto a las clásicas, especialmente a la coloración de grasas para jabones, a los que da el color verde característico de los aceites de orujo. También se usa, sobre todo en estos últimos años, en los de tocador, a los que da un tono verde uniforme, sin que ni aquéllos ni éstos manchen la ropa. Para ello no es necesario emplear el complejo sodio-cobre-clorofila y hoy, pues basta la clorofila bruta o modificada por la sustitución de un átomo de magnesio por otro de cobre para reforzar el color lo suficiente para acreditar la presencia del pigmento de moda.

Las formas hidrosolubles se emplean en la fabricación de desodorantes de uso doméstico, y unas y otras como estimulantes del apetito y de la formación de hemoglobina. Se estudia también su aplicación al tratamiento de algunas afecciones cardíacas, hipertensión, sinusitis y regeneración de los tejidos.

Y así, en todos los países, va fijándose la atención de los hombres de ciencia en el estudio de las propiedades y posibilidades de aprovechamiento de la hasta hace poco tiempo menospreciada clorofila, que ha llegado a ser una importantísima materia prima de gran interés industrial. (Per "Ión", mayo 1953.)

B I B L I O G R A F I A

Anónimo: "La chlorophylle est a l'ordre du jour: Connaissions ses possibilités". *Parfumeries de France*, núm. 56 (nov. 1952), pág. 34.

André Fournier: "La chlorophylle desodorise-t-elle?" *Science et Vie*, número 424 (janvier 1953), pág. 7.

A. Lorenci y Edelman: "Propiedades fármacodinámicas y terapéuticas de la clorofila". *Bulletin Médical*, núm. 38 (19 septiembre 1931).

Jesús Ugarte: "La clorofila". *Hojas divulgadoras del Ministerio de Agricultura*, segunda serie, núm. 46 (noviembre 1942).

R. P. Eduardo Vitoria, S. J.: "Conferencias argentinas", pág. 299.

SOBRE EL MECANISMO DE LA ACCION DESODORANTE DE LA CLOROFILA

La acción desodorante de la clorofila no se limita a suprimir los olores debidos a las sustancias fermentadas, acción semejante a la de algunos compuestos de amonio cuaternario, sino que elimina los propios olores por acción directa.

El mecanismo de este fenómeno representa un nuevo hecho en la química y ha interesado profundamente a múltiples investigadores.

El autor emplea para sus ensayos una cámara de gases de 18 m³, unida a un ventilador, a cuyo través coloca un filtro que contiene la masa clorofílica de composición siguiente:

Clorofila liposoluble 10 %	2,5	grs.
B-caroteno	0,3	"
Xantofila	0,1	"
Monoesterato de glicerilo	5,5	"
Glicerina	5,0	"
Agua	6,0	"
Jabón sódico de coco (82 % H ₂ O)	75,6	"

Esta masa clorofílica es hilada y el paquete de hilos es adaptado al recipiente metálico, en aluminio, que constituye el filtro de aire. La fórmula adoptada responde a las pruebas experimentales previas, según las cuales, si se priva de apua a la masa, la clorofila no tiene acción desodorante; si el jabón es alcalino, tampoco hay absorción, que la clorofila acuoso soluble tampoco es desodorante, y que la clorofila liposoluble no debe estar en presencia de sales solubles de metales pesados.

Después de estos ensayos, y confeccionada la masa absorbente con la fórmula antes indicada, el autor ha comprobado: Que el efecto desodorante de tal mezcla es óptimo hasta tres días, disminuyendo su eficacia después; que la adición de B-caroteno exalta el poder desodorante; que la exposición de la masa agotada a los rayos del sol la vuelve activa, y que en ausencia de anhídrido carbónico el filtro pierde su eficacia.

Según el autor, el mecanismo químico de esta sorprendente reacción desodorante podría interpretarse porque la clorofila en presencia del caroteno produciría con el anhídrido carbónico formol y oxígeno, ambos activísimos en estado naciente, y a los cuales podría achacársele responsabilidad de la acción desodorante. (BREGALIO: *Riv. Ita Essen-Prof.*, 131, 1953.)