

ALGUNOS PROCESOS PEDOCUIMICOS EN AREAS DE DEPOSICION DE CENIZAS DE LIGNITO E INFLUENCIA DE LA COLONIZACION ESPONTANEA CON PLANTAS SUPERIORES

Rolf Schnabel

Bezirkshygieneinspektion und -institut Leipzig DDR -
7010 Leipzig, Beethovenstr. 25

RESUMEN

Se estudiaron los cambios de parámetros químicos en sustratos superficiales (0-10 cm) de depósitos de cenizas de lignito de distinta edad, relacionados con su colonización por plantas superiores. Así pudieron inferirse regularidades en la pedogénesis de estos sustratos. Se señalan los efectos en profundidad de los cambios químicos.

Del análisis de estos procesos surgen puntos de partida para el uso y ordenamiento de esos campos de deposición, en equilibrio con el ambiente que los rodea.

Palabras Clave: Deposición de cenizas de lignito; transformaciones químicas; colonización vegetal.

SOME PEDOCHEMICAL PROCESSES IN AREAS OF ASH DEPOSITION AS AFFECTED BY SPONTANEOUS COLONIZATION OF HIGHER PLANTS

ABSTRACT

The changes of any chemical parameters of surface substrates (0-10 cm) from deposits of brown-coal ashes of different age has been examined in correlation to occupation by higher plants. From this any regularities of pedogenetics of these substrates could be abstracted. The changes of the chemical properties with the depth has been shown.

The analysis of these processes gave startpoints for the cultivation and the settling down of the deposit-bodies into the environmental cycles.

Key words: Brown coal ash deposition; chemical transformation; plant colonization.

ÜBER EINIGE PEDOCHEMISCHE VORGÄNGE BEI DER NATÜRLICHEN BESIEDLUNG VON ASCHDEPONIEEN DURCH HÖHERE PFLANZEN

ZUSAMMENFASSUNG

Es wurde die Veränderung von chemischen Parametern der Oberflächensubstrate (0-10 cm) verschieden alter Deponien von Braunkohlenaschen in korrelation zu ihrer Besiedlung mit höheren Pflanzen untersucht. Daraus konnten Gesetzmäßigkeiten der Pedogenese dieser Substrate abgeleitet werden. Die Tiefenwirkungen der chemischen Veränderungen wurden aufgezeigt.

Aus der Analyse dieser Vorgänge ergaben sich Ansatzpunkte für die Kultivierung und Einordnung der Deponiekörper in den Haushalt der umgebenden Landschaft.

Schlüsselwörter: Braunkohle Aschedeponien; chemische transformationen; Pflanzenbesiedlung.

INTRODUCCION

En la economía de la República Democrática Alemana (DDR), el lignito es la fuente de energía más importante. De su combustión se forman cenizas que en su mayor parte no son utilizables y que se acumulan en forma seca o húmeda. Esas deposiciones de cenizas y su incorporación al paisaje circundante (Mahr et al., 1982) es de especial interés para la DDR. Por ejemplo, en el distrito de Leipzig, las cenizas representan más del 90 por ciento de los subproductos no reutilizables por la industria (Tauchnitz y Scholz, 1977).

El objetivo de este trabajo es documentar los cambios químicos del sustrato ligados a la ocupación espontánea de plantas, siendo el conocimiento de esos cambios un primer paso para el uso óptimo de esos cuerpos de deposición.

En los alrededores de Leipzig la mayor parte de los suelos están alterados por la minería de lignito. La precipitación pluvial anual es de 545 mm y la temperatura media, de 8,9°C.

MATERIALES Y METODOS

Se estudió el estado de colonización de áreas de deposición húmeda y seca de cenizas de lignito de distinta edad. La decisión de clasificarlos desde estadios iniciales a comunidades estables en su composición botánica, se realizó en base a la presencia de especies diagnósticamente importantes (Braun-Blanquet, 1965; Gutte, 1971; Gutte y Hilbig, 1975).

Paralelamente a estos estudios, en ocho de estas áreas de deposición formadas, comprobables como de deposición húmeda, se analizaron químicamente los sustratos superficiales (0-10 cm).

Con los mismos métodos se analizaron las muestras extraídas de perfiles de suelos (relleno de cenizas de 8 y 14 años de edad), obtenidos en dos calicatas.

Todas las muestras, a excepción de las de los perfiles, fueron obtenidas por cuarteo de submuestras tomadas en áreas de aspecto homogéneo.

Los análisis fueron llevados a cabo en el Instituto para la Nutrición Vegetal JENA, de la Academia de Ciencias Agronómicas de la DDR, área de análisis y extensión agroquímica (ACUB). Se utilizaron los métodos de uso corriente en la DDR para análisis de suelos (Standard TGL).

pH: Potenciométricamente en KC1 0.1 N (1: 2.5).

Fósforo: Extracción con lactato de calcio y determinación con molibdato de amonio.

Calcio: Extracción con acetato de amonio, con agitación y determinación con fotómetro espectral de absorción atómica.

Potasio: Extracción con lactato de calcio y determinación con fotómetro de llama en 770 nm.

Magnesio: Extracción con CaCl_2 0.025 N y determinación con fotómetro espectral de absorción atómica en 285 nm.

Carbono total: Por combustión en corriente de O_2 en 1123 K y absorción del CO_2 resultante en NaOH. En casos de muestras con altos contenidos de carbonatos, por combustión húmeda con ácido sulfocrómico.

Nitrógeno total: Método de Kjeldahl.

Valores T y H: Percolación con solución de acetato amonio y posterior cuantificación en el percolado de Ca, Mg, K y Na. Posteriormente percolación con solución de intercambio de BaCl_2 , intercambio con MgCl_2 y titulación como BaSO_4 (Valor T).

RESULTADOS Y DISCUSION

Colonización espontánea de las áreas de deposición por medio de plantas superiores.

La colonización de un área de deposición por plantas superiores ocurre, en principio, en varias etapas (Tauchnitz et al., 1978) bajo las condiciones climáticas en la DDR; son estas:

- Colonización primaria, con la formación de estadios iniciales que contienen muchos elementos casuales, por ejemplo: cultivos, malezas, ornamentales, etc.
- Formación de comunidades vegetales estables en su composición florística y su sucesión (Gutte, 1971).
- Colonización con plantas arbóreas y la sucesiva formación de comunidades que preceden al bosque.
- Evolución hacia el bosque climax (Schubert, 1976).

La Figura 1 ilustra sobre las primeras etapas evolutivas de la comunidad vegetal sobre distintos sustratos.

Su sucesión en el tiempo sobre cenizas de lignito, comparado con residuos comunales, se graficó en la Figura 2. Se observa un marcado retraso en la colonización espontánea.

El sustrato del que se parte para la colonización por parte de las plantas, difiere sensiblemente del usual para las mismas. La explicación de este fenómeno está en el propio proceso de formación de las cenizas. Si se compara la concentración de los elementos del lignito típico (Page et al., 1979) con el contenido promedio de estos elementos en un suelo típico (Page et al., 1979; Straughan et al., 1978), Tabla 1) se reconoce que algunos elementos (B; Cd; Hg; Se) están en mayor concentración en el carbón que en el suelo, pero no sobrepasan el espectro de concentración usual del mismo, excepto en el caso del Se. Luego de la combustión del carbono, las cenizas llegan a un enriquecimiento sustancial. El sustrato así formado contiene concentraciones de estos elementos que sobrepasan bastante el límite superior del espectro de concentraciones en suelos típicos (Tabla 2).

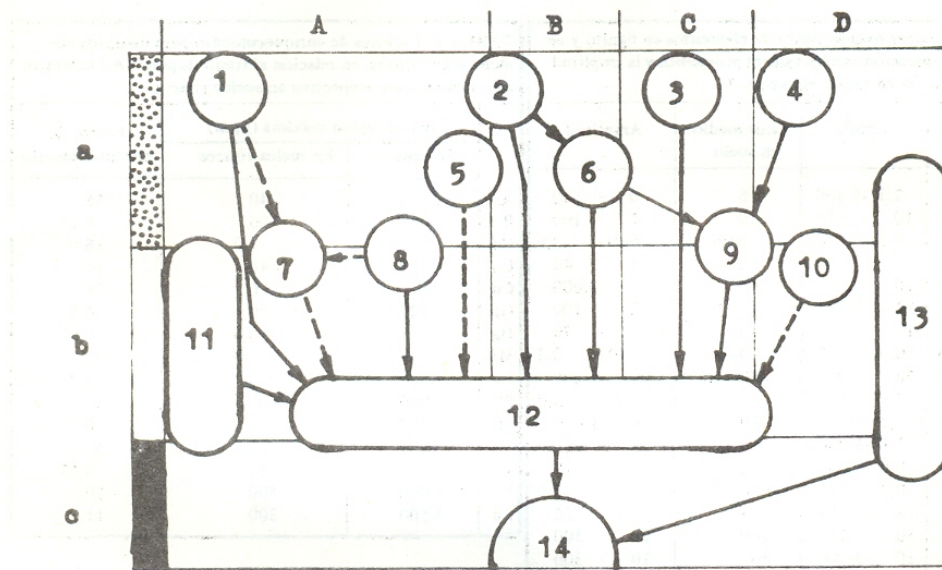


Figura 1: Esquema de las primeras etapas evolutivas de la colonización de distintos sustratos por medio de plantas superiores (modificado según Gutte (1971) y Gutte et al. (1975)),

A: Relleno con basura; B: Relleno con escombros; C: Relleno con suelo obtenido en excavaciones; D: relleno con cenizas;
a: estadios iniciales de la colonización; b: comunidades vegetales estables; c: colonización con arbóreas;
1: *Chenopodio rubri* - *Atriplicetum patulae*; 2: *Chenopodietum stricti*; 3: *Tussilagetum farfarae*; 4: *Bromo-Erigeretum canadensis*; 5: *Sisymbrietum loeselii*; 6: *Lactuco-Erigeretum canadensis*; 7: Comunidad de *Artemisia tournefortiana*; 8: *Atriplectetum nitentis*; 9: *Echio-Melilotetum albi*; 10: *Centaureo diffusae* - *Berteroetum incanae*; 11: *Onopordetum acanthii*; 12: *Tanacetum vulgare*-*Artemisietum vulgare*; 13: Comunidad de *Calamagrostis epigejos*; 14: Estadios prebosque.

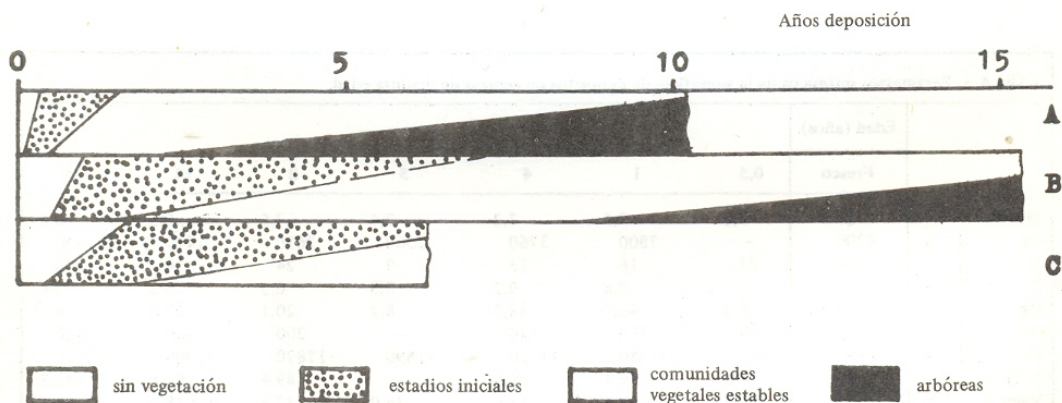


Figura 2: Evolución en el tiempo de la colonización espontánea por plantas superiores sobre desperdicios municipales (basura) (A), deposición húmeda (B) y seca (C) de cenizas de lignito.

TABLA 1: Concentración típica de elementos en lignito y cenizas, en comparación con los valores promedios y la amplitud de concentración en suelos en p.p.m. *

	Carbón	Ceniza	Valor medio en suelo	Amplitud
As	15	2,3 - 6.300	6	0,1 - 40
B	50	10 - 618	10	2 - 100
Cd	1,3	0,7 - 130	0,06	0,01 - 7,0
Co	7	7 - 520	8	1 - 40
Cr	15	10 - 1.000	100	5 - 3.000
Cu	19	14 - 2.800	20	2 - 100
Ga	7	13 - 320	30	15 - 70
Hg	0,18	0,02 - 1,0	0,03	0,01 - 0,3
Mn	100	58 - 3.000	850	100 - 4.000
Mo	3	7 - 160	2	0,2 - 5,0
Ni	15	6,3 - 4.300	40	10 - 1.000
Pb	16	3,1 - 5.000	15	2 - 100
Sb	1,1	0,8 - 202	6	0,6 - 10
Se	4,1	0,2 - 134	0,2	0,1 - 2,0
Th	1,9	13 - 68	5	0,1 - 12
V	20	50 - 5.000	100	20 - 500
Zn	39	10 - 3.500	50	10 - 300

* Según: Page et al., 1979 y Straugham et al., 1978.

TABLA 2: Factores de enriquecimiento para distintos elementos en cenizas, en relación al límite superior del espectro de concentración respectivo en suelos típicos.

	Concentración máxima (ppm)		Factor de enriquecimiento
	En cenizas	En suelos típicos	
As	6.300	40	156
B	618	100	6,18
Cd	130	7,0	18,6
Co	520	40	13
Cu	2.800	100	28
Ga	320	70	4,57
Hg	1,0	0,3	3,33
Mo	160	5,0	32
Ni	4.300	1.000	4,3
Pb	5.000	100	50
Sb	202	10	20,2
Se	134	2,0	67
Th	68	12	5,67
V	5.000	500	10
Zn	3.500	300	11,7

Cambios químicos del sustrato durante la colonización vegetal

Esas concentraciones extremas junto con otros parámetros agroquímicos que se estudian en el presente y que son muy desfavorables en las superficies formadas por la acumulación seca y húmeda de ceniza, son las causas por las cuales estas superficies sean colonizadas lentamente, y solamente por determinadas especies vegetales (Rohde, 1962; Fischer, 1976; Brand, 1975; Krummsdorf et al., 1974; Gutte, 1971 b; Hofmann y Wolf, 1958).

RELACIONES QUÍMICAS EN LA SUPERFICIE DE DEPOSICIÓN DE CENIZAS DE DISTINTA EDAD

En la Tabla 3 y Figura 3 se muestran una comparación de los parámetros agroquímicos de depósitos de cenizas de lignito de distinta edad.

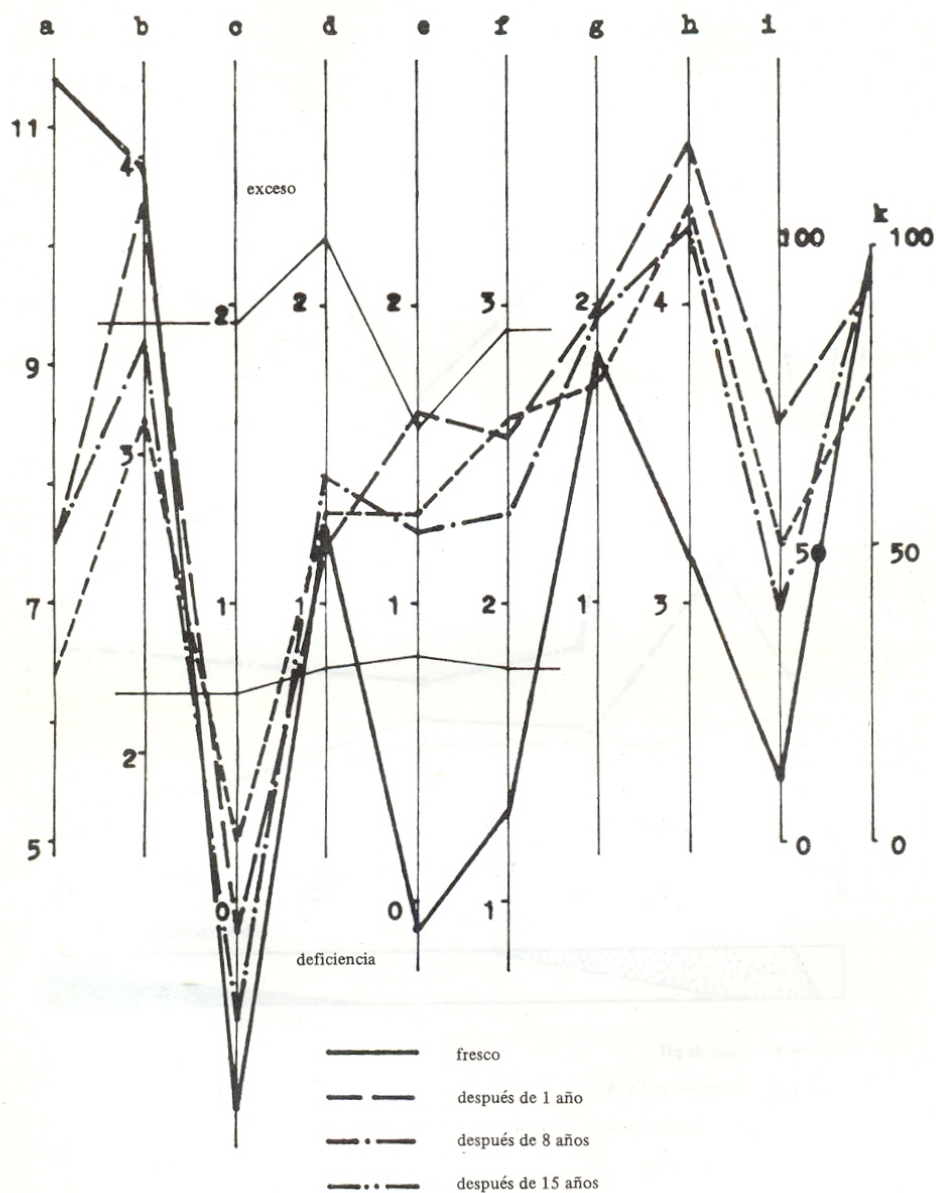
En la deposición húmeda (filtrada) reciente de cenizas de lignito resaltan, por sobre todo, el valor de pH extremadamente alto, el exceso de Ca y el grave déficit de P, Mg y N. Se debe observar que en el trans-

TABLA 3. Parámetros químicos de la superficie de depósitos de cenizas de distinta edad.

		Edad (años)							
		Fresco	0,5	1	4	5	8	14	15
pH		11,4	9,0	7,5	7,2	7,4	7,5	6,5	6,4
Ca	a	9200	—	7800	3760	2560	2610	1440	1370
K	a	19	23	16	13	9	24	14	20
P	a	0,2	—	0,8	0,2	0,8	0,5	0,2	1,6
Mg	a	0,8	11,2	46,5	48,5	8,2	20,1	20,6	19,7
N _t	a	20	60	360	340	—	200	360	420
C _t	a	1430	4730	35780	44020	21890	17870	21900	22270
C: N		71,5	78,8	99,4	129,5	—	89,4	60,8	52,3
Valor T	b	9,6	10,0	69,8	51,0	36,0	37,9	48,0	50,1

a. mg/100 g (cg kg⁻¹) sobre sustrato seco.

b. meq Ba²⁺/100 g (cmol_c Ba²⁺ kg⁻¹) sustrato seco.



a: pH; b: lg (Ca)⁺; c: lg (P)⁺; d: lg (K)⁺; e: lg (Mg)⁺; f: lg (N)_t⁺; g: lg (C:N)⁺; h: lg (C)_p⁺; i: Valor T (meq Ba⁺⁺/100 g sustrato seco; k: saturación de bases; +: ver Tabla 3.

Figura 3: Comparación de parámetros químicos del sustrato superficial de depósito de cenizas de distinta edad.

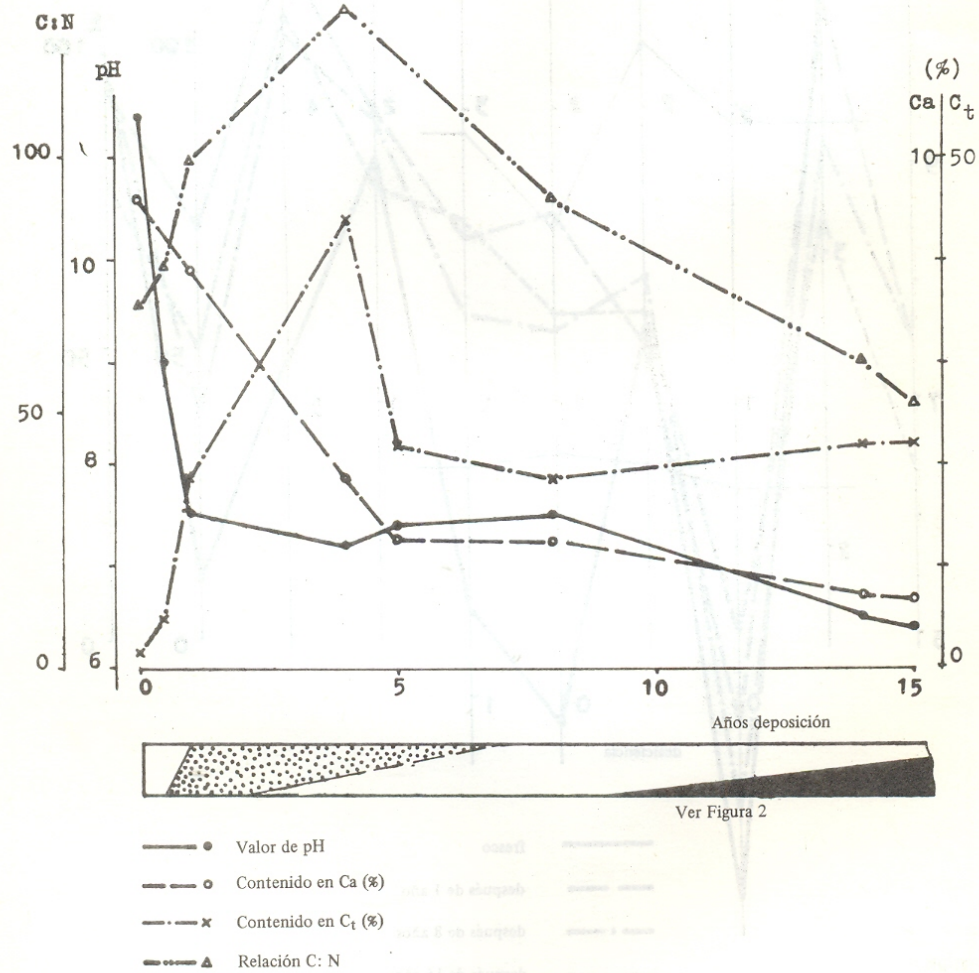


Figura 4: Dinámica de la evolución de parámetros químicos escogidos de los sustratos superficiales de deposiciones húmedas de distinta edad.

curso de una evolución prolongada se alcanza un equilibrio en los extremos. Prácticamente sólo la deficiencia de P queda casi sin variantes.

En el caso del fósforo, así como en el del magnesio, la deficiencia en el sustrato de la deposición fresca se debe a una inmovilización de los mismos debido al pH sumamente elevado. Con valores de pH superiores a 9 la forma dominante del Mg es el MgCO_3 (Lindsay, 1979). Cuando el pH baja a aproximadamente 7, predomina el MgSO_4 , que es más soluble, y la deficiencia desaparece. El fósforo se encuentra en pH mayor de 9, en la forma poco soluble de $\text{Ca}_2(\text{PO}_4)_3$ (Lindsay, 1979). El desplazamiento del equilibrio químico en dirección a fosfatos ácidos más solubles que se esperaría al descender el pH, no ocurre debido a la formación de CaCO_3 , documentada por la elevación del contenido de carbono total. Un aumento del contenido de carbonatos disminuye la solubilidad de los compuestos fosfatados y con ello la disponibilidad para las plantas (Lindsay, 1979).

La deficiencia de nitrógeno disminuye, con gran probabilidad, por la incorporación de compuestos nitrogenados con la precipitación pluvial. Por ejemplo, en regiones alejadas de los centros industriales de la DDR, se cuantificaron hasta 15 mg L^{-1} de nitratos (Peukert, 1974). Debe agregarse a ello el aporte de polvos atmosféricos.

La dinámica y los mecanismos de estos procesos pueden observarse en la Figura 4.

Según estos datos se reconocen las siguientes etapas evolutivas en la superficie de las áreas de deposición húmeda de cenizas:

- 1) Inmediatamente después de la deposición, el determinante de la química del sustrato (valor de pH, por ejemplo), es el hidróxido de calcio formado según la reacción: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$. La proporción del calcio disponible para las plantas se en-

cuentra entre el 50 y el 64 por ciento del Ca total.

- 2) En esta etapa siguiente, hasta aproximadamente el 4º año de deposición, el valor de pH se regula a aproximadamente un valor 7,4, según la reacción: $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$. La expresión de este fenómeno es la rápida elevación del contenido de carbonatos. El CO_2 proviene del agua pluvial y por difusión de la atmósfera del suelo.

- 3) Como consecuencia del proceso $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(HCO}_3)_2$, el contenido de C total baja en la tercera etapa evolutiva porque el $\text{Ca(HCO}_3)_2$ es muy soluble y se lava. Debido a que esta reacción es reversible, después de un corto recorrido del flujo del agua de lluvia a través del sustrato, precipita nuevamente CO_3Ca . De esta forma el C inorgánico y el Ca se acumulan en profundidad.

- 4) En la cuarta etapa evolutiva (entre el 5º y el 10º año de la deposición) se establece un equilibrio en el sustrato, entre la movilización y la acumulación en profundidad de Ca, que permite condiciones estables para la evolución de comunidades vegetales durables.

- 5) Recién con la creciente colonización de especies arbóreas hay una acumulación de biomasa que se expresa en la elevación del contenido de C total que vuelve a modificar el sustrato. Toma importancia el paulatino enriquecimiento en sustancias nitrogenadas, manifestado por la disminución de la relación C/N.

CAMBIOS QUÍMICOS EN PROFUNDIDAD

Las modificaciones del sustrato comienzan en la superficie y continúan paulatinamente en profundidad. Esto puede demostrarse en los perfiles de suelo, de deposiciones de distinta edad.

Después de 8 años de deposición, el contenido máximo de Ca alcanzó una profundidad de 15 cm (Tabla 4 y Figura 5).

TABLA 4: Modificaciones de parámetros químicos en la profundidad del perfil de una deposición húmeda de cenizas de 8 años.

		Profundidad (cm)				
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
pH		7,5	7,9	7,7	7,4	7,9
Ca	a	3240	3720	1840	1440	1520
K	a	13	12	12	15	18
P	a	0,5	0,8	0,4	0,2	0,3
Mg	a	40,3	86,1	127,0	83,8	93,9
N _t	a	232	281	178	118	145
C _t	a	11550	11550	11550	9230	11550
C: N		49,8	41,1	64,9	78,2	79,7
Valor T	b	49,6	33,2	35,5	24,2	32,4

a. $\text{mg}/100 \text{ g}$ (cg kg^{-1}) sobre sustrato seco.

b. $\text{meq Ba}^{2+}/100 \text{ g}$ ($\text{cmol}_c \text{ Ba}^{2+}\text{kg}^{-1}$) sustrato seco.

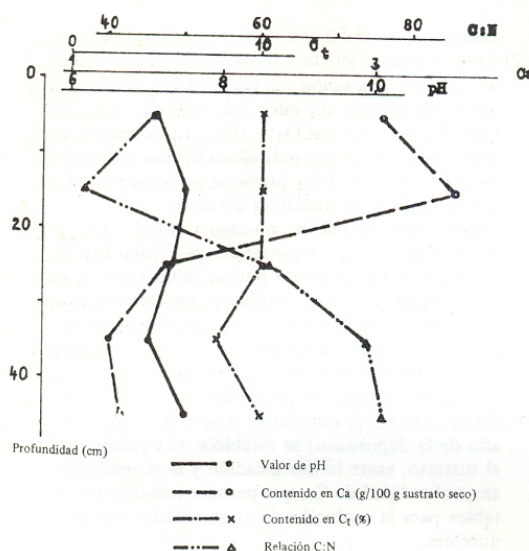


Figura 5: Modificación de parámetros químicos escogidos de un perfil de suelo de un área de deposición húmeda de 8 años.

Un cambio de valor de pH, en este caso, recién se insinúa en la superficie. La abrupta disminución del contenido de Ca por debajo del máximo indica la precipitación del CaCO_3 después de la movilización en profundidad del $(\text{CO}_3\text{H})_2\text{Ca}$. El calcio se mueve en forma paralela a otros iones. Esta afirmación se apoya, por ejemplo, en el hecho de que el mínimo de la relación C/N también se encuentra a la profundidad de 15 cm, pues corresponde en las condiciones dadas, al máximo de redistribución del N.

Después de 14 años de deposición el máximo contenido de Ca alcanza los 20 cm de profundidad.

En la forma de las curvas del contenido de Ca total y de la relación C/N se reconoce que por encima de los 15 cm de profundidad (mínimo de la curva), es activo otro mecanismo que el descrito hasta este momento. Este se caracteriza por una continua elevación del contenido de C total, esta vez debido a las sustancias orgánicas (incremento de la biomasa en y sobre el sustrato) que originan la aparición de fenómenos, en la superficie, tales como disminución del valor de pH, aumento del lavado del Ca y aumento de la relación C/N.

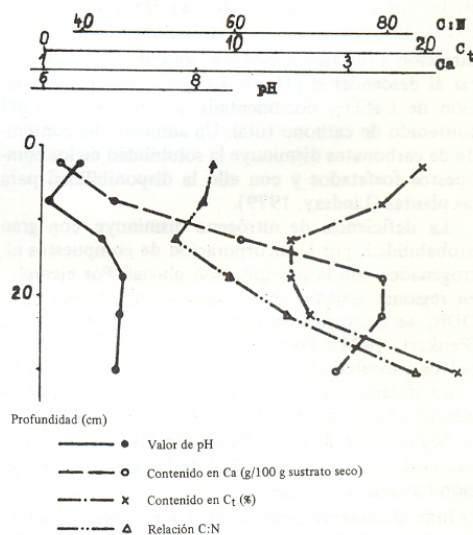


Figura 6: Modificación de parámetros químicos escogidos de un perfil de suelo de un área de deposición húmeda de 14 años.

TABLA 5: Modificaciones de parámetros químicos en la profundidad del perfil de una deposición húmeda de cenizas de 14 años.

		Profundidad (cm)					
		0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-35
pH		6,5	6,1	6,8	7,1	7,1	7,0
Ca	a	1120	1480	2320	3240	3240	2960
K	a	18	16	21	13	6	5
P	a	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Mg	a	15,7	11,7	10,6	9,7	16,0	28,6
N _t	a	350	320	250	220	210	260
C _t	a	20100	18000	13200	13200	14200	22000
C: N		57,4	56,5	52,8	60,0	67,6	84,6
Valor T	b	48,0	44,8	69,2	56,2	62,4	52,7

a. mg/100 g (cg kg⁻¹) sobre sustrato seco.

b. meq Ba²⁺/100 g (cmol_c Ba²⁺ kg⁻¹) sustrato seco.

CONCLUSIONES

Bajo el término "domesticación" de un cuerpo de deposición se entiende su rápida incorporación en los ciclos naturales del ambiente, con el menor insumo posible. Para ello son importante el conocimiento de las tendencias evolutivas naturales y el estado final de la colonización por parte de las plantas superiores y analizar la posibilidad de acelerar el proceso.

Los resultados expuestos corroboran las indicaciones generales expuestas en el catálogo de medidas a tomar para acelerar el proceso de "domesticación" y que se concentran en la intervención de dos puntos:

- 1) Modificación del sustrato original hacia parámetros químicos más favorables para las plantas.

- 2) Aceleración en el proceso de colonización vegetal.

Al presente, el proceso utilizado consiste en la implantación de especies arbóreas. Para ello se plantan en orificios rellenados con mezclas de las mismas cenizas y compost de residuos domiciliarios. Este sistema provee a los árboles suficientes nutrientes en los primeros años y garantiza condiciones favorables para el desarrollo de los mismos.

El estado final de la evolución vegetal al cual se tiende, no se alcanza en un solo paso, porque las especies leñosas adaptadas al lugar, no son en su mayoría de crecimiento suficientemente rápido. Por ello se elige como estado intermedio una generación leñosa robusta y de rápido crecimiento, que en las condiciones de la DDR consisten en álamos (*Populus* sp.) y acacia blanca (*Robinia pseudoacacia*) con eventuales mezclas con otras especies leñosas.

BIBLIOGRAFIA

- Brand, R., 1975. Entwicklung eines Verfahrens zur Begrünung von Aschehalden am Beispiel der Hochhalde Leuna. *Wasserwirtschaft-Wassertechnik*. 25: 62-70.
- Braun-Blanquet, J., 1965. *Pflanzensoziologie*. Springer-Verlag. Wien-New York.
- Fischer, W., 1976. Beobachtungen über die Vegetationsentwicklung auf Ascheaufschüttungen im Berliner Gebiet. *Berlin Brandenburg*. 12: 2-9.
- Gutte, P., 1971a. Die Wiederbegrünung städtischen Odlandes, dargestellt am Beispiel Leipzigs. *Hercynia N.F.* 8: 58-91.
- Gutte, P., 1971b. Die Vegetation der Aschehalde Rositz bei Altenburg. *Abh. Ber Naturkd. Mus. "Mauritianum" Altenburg*. 7: 7-16.
- Gutte, P. y Hilbig, W., 1975. Übersicht über die Pflanzengesellschaften des südlichen Teiles der DDR. XI, Die Ruderalvegetation. *Hercynia N.F.* 12: 1-39.
- Hofmann, E. y L. Wolf, 1958. Über den Einfluss von Steinkohlenflugasche auf Boden und Pflanzenwachstum. *Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk.* 82: 146-151.
- Krummsdorf, A.; H. F. Joachim y P., Kasten, 1974. Kulturbodenlose Aufforstung einer Aschehalde. *Technik Umweltschutz*. 9: 128-144.
- Lindsay, W. L., 1979. *Chemical equilibria in soils*. John Wiley. New York.
- Mahrle, W.; R. Schnabel y J. Tauchnitz, 1982. Zur Begriffsbestimmung einiger Bezeichnungen bei Deponieproblemen. *Z. Ges. Hyg.* 28: 87-90.
- Page, A. L.; A. A. Elseewi y I. R. Straughan, 1979. Physical and chemical properties of fly ash from coal-fired power plants with reference to environmental impacts. *Residue Revs.* 71: 83-120.
- Peukert, V., 1974. Untersuchungen des Einflusses atmosphärischer Verunreinigungen auf die Wasserbeschaffenheit der Gewässer. *Wasserwirtschaft-Wassertechnik*. 24: 158.
- Rohde, G., 1962. Flugasche und Pflanzenwachstum. *Z. Ges. Hyg.* 8: 333-336.
- Schubert, R., 1976. Ökologische Betrachtungsweise als Prinzip wissenschaftlicher Forschungsarbeit für die sozialistische Landeskultur. *Hercynia N.F.* 13: 158-163.
- Standard TGL 2518. Chemische Bodenuntersuchung.
- Straughan, I. R.; A. A. Elseewi y A. L. page, 1978. Mobilization of selected trace elements in residues from coal combustion with special reference to fly ash. En: XII Symp. Trace Subst. Environ. Health. Columbia. 389-402.
- Tauchnitz, J. y H. Scholz, 1977. Erfahrungen und Schlussfolgerungen aus einem Jahr Praxis mit der 6. Durchführungsverordnung zum Landeskulturgesetz. *Technik*. 32: 693-696.
- Tauchnitz, J.; R. Schnabel; W. Mahrle; K. Riedel y H. Scholz, 1978. Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte. I. Mitteilung: Untersuchung über die Kultivierungsmöglichkeit von Deponien industrieller Abprodukte. *Hercynia N.F.* 15: 58-65.