

**LA ALTERACION Y TRANSFORMACION DE MINERALES PRIMARIOS EN UN PERFIL
DE SUELO DE LA ISLA SANTA CRUZ, ISLAS GALAPAGOS (ECUADOR)***

Héctor J. M. Morrás
Dirección de Suelos y Aguas
Ministerio de Agricultura y Ganadería
Bvard. Pelegrini 3100 - Santa Fe

RESUMEN

Se realizó el estudio micromorfológico de un perfil de suelo de la Isla Santa Cruz (Galápagos) y se analizaron los diversos procesos de alteración de los minerales primarios más característicos del esqueleto.

Los resultados obtenidos permiten establecer el grado de evolución del perfil y su condicionamiento a distintos factores pedogenéticos.

SUMMARY Weathering and transformation of primary minerals of a soil profile from Santa Cruz Island, Galapagos Islands.

The weathering of some characteristics primary minerals of a soil profile from Santa Cruz Island, Galapagos, were evaluated through a micromorphological study. The evolution degree of the profile and different pedogenetic factors are also considered.

(*) Presentado en la Reunión de Comunicaciones y Trabajos Científicos del 29/III/1974.

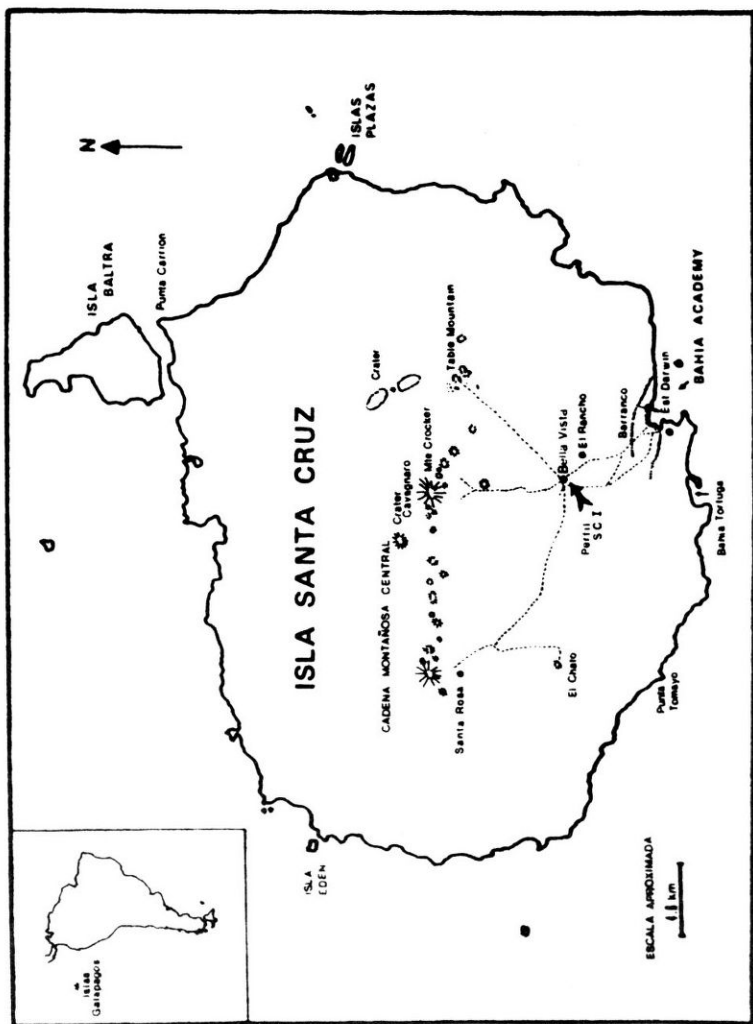


FIGURA 1. Mapa de la Isla Santa Cruz, y ubicación del perfil "S.C.I"

INTRODUCCION

Las Islas Galápagos se encuentran en el Océano Pacífico, unos 1.000 km. al oeste de Ecuador. Estas islas están constituidas por grandes volcanes en escudo formados desde el Terciario tardío hasta períodos recientes, siendo algunos de ellos aún muy activos.

La Isla Santa Cruz (también llamada Isla Chaves o Indefatigable), mide alrededor de 30 kms.(N-S) por 42 kms.(E-O) de diámetro. Las alturas mayores se encuentran en la parte central alcanzando 865 mts. sobre el nivel del mar. El paisaje suavemente ondulado, se encuentra interrumpido por una larga fila de elevaciones cónicas que se extienden desde Santa Rosa en el oeste, hasta las proximidades de Table Mountain en el este. La mayor parte de la isla está cubierta por numerosas coladas de lava basáltica y material piroclástico de períodos recientes, muy alterados y que cubren casi completamente las rocas más antiguas.

LARUELLE (1966) establece para la isla Santa Cruz una zonación pedológica en la que serían reconocibles cinco zonas diferentes en una toposecuencia que va desde el nivel de la costa hasta una altura aproximada de 500 m. Esas diferentes regiones serían: a-Zona de suelos litológicos. b-Zona de suelos pardos y de perfil AC (zona de transición). c-Zona de andosuelos pardos y pardo-rojizos. e-Zona de andosuelos menos caracterizados.

El propósito del trabajo es contribuir al conocimiento de la génesis de suelos en la citada región, realizando un análisis de los procesos de alteración de los minerales primarios en base a los datos de las observaciones micromorfológicas.

MATERIAL Y METODOS

El presente trabajo ha sido realizado sobre un perfil de suelo proveniente de la Isla Santa Cruz, Galápagos, en base a algunos datos físico-químicos y granulométricos disponibles, y ampliando en esta primera etapa, con un estudio micromorfológico. Un estudio previo sobre los oligoelementos de este perfil fue realizado por LARUELLE y STOOPS (1967).

El perfil "S.C.I." se encuentra a corta distancia de la localidad de Bella Vista (Figura 1) en un lugar plano y a una altitud aproximada de 180 m sobre el nivel del mar. Pedológicamente se ubica en la segunda zona ("de transición"), muy cerca del límite con la tercera (de suelos pardos y pardos lixiviados) y mostrando características intermedias entre ambas.

Los análisis físicos y químicos fueron realizados en los laboratorios del International Training Centre-Gent (Bélgica). En el estudio micromorfológico se siguió el sistema de BREWER (1964), describiéndose la microestructura de acuerdo a BECKMAN y GEYGER (1967). Los cortes delgados de suelo fueron preparados según el método mencionado por LARUELLE (1968). En la descripción del perfil los colores se dan de acuerdo a la

tabla confeccionada por OYAMA y TAKEHARA (1957).

RESULTADOS

CARACTERIZACION DEL PERFIL

La caracterización del perfil se ha resumido en los cuadros 1 y 2 donde se han señalado las principales componentes físicas y químicas de ese perfil.

Descripción micromorfológica

Microestructura: En los horizontes A_{11} y A_{12} la estructura es granular con una cierta tendencia a porosa en A_{11} y A_{12} , mientras que se transforma en fisurada irregularmente en profundidad debido a la presencia muy frecuente de fisuras lisas. Los canales son comunes en todo el perfil y particularmente importantes en el horizonte A_{12} , donde a veces son agrotúbulos.

Esqueleto: Está compuesto principalmente por granos de olivino, plagioclasas (labradorita) y piroxenos (augita), observándose también fragmentos de vidrio volcánico básico. La olivina, idingsitizada y en granos de pequeñas dimensiones (30-40 u), se presenta en todo el perfil (c-f). Las plagioclasas son más bien raras en A_{11} y A_{12} y de dimensiones equivalentes a la idingsita, aumentando en cantidad y tamaño en los horizontes inferiores.

Los piroxenos se encuentran muy alterados en los horizontes superficiales, presentando cavidades de disolución generalmente según los planos de olivaje de los granos (Fig. 6 y 7). En profundidad los piroxenos están menos alterados y son mucho más abundantes que en el horizonte A; en general la alteración se manifiesta por la formación de depósitos de hierro en las fisuras que siguen los planos de clivaje (Fig. 5).

Las litorreliquisas basálticas están ausentes en el horizonte A_{11} , se presentan ocasionalmente en el A_{12} y se hacen frecuentes en profundidad. Su grado de alteración es más marcado a medida que se acercan a la superficie lo que se manifiesta por la desaparición casi completa de las plagioclasas. En profundidad se puede observar todavía algunos trozos de plagioclasas transformándose en geles isotropos y éstos transformándose en gibbsita $Al(OH)_3$ (Fig. 2, 3 y 4).

Plasma: La fábrica plásmica es aséptica, con tendencia a isotrópica en los horizontes superiores.

Distribución relativa: siempre porfirica.

Materia orgánica: Restos vegetales poco o moderadamente humificados se presentan comúnmente en los horizontes de superficie.

CUADRO 1. Descripción del perfil (Hapludoll)

A ₁₁	0-20 cm	Horizonte humífero, estructura granular y numerosos cutáns sobre los agregados. Color en seco: 7.5 YR 3/2 (negro parduzco), en húmedo 10 YR 4/2,5 (pardo amarillento grisáceo).
A ₁₂	20-37 cm	Horizonte de infiltración orgánica, estructura granular y revestimientos, especialmente sobre las cavidades de origen biológico. Color en seco: 7.5 YR 3/2 - 4/2 (negro parduzco a pardo grisáceo), en húmedo: 10 YR 3/3 (pardo oscuro).
B ₁ (?)	37-60 cm	Se observa acumulación de arcilla y presencia de fragmentos rocosos (gravas); estructura ligeramente granular. Duro a seco, friable en húmedo. Color: 7.5 YR 3/2 - 4/2 (negro parduzco a pardo grisáceo), en húmedo: 10 YR 3/3 (pardo oscuro).
B ₂ (?)	60-80 cm	Horizonte de acumulación de arcilla. Estructura ligeramente granular; ligeramente duro en seco, friable en húmedo. Los fragmentos rocosos son abundantes. Color en seco: 7.5 YR 3/2 - 4/2 (negro parduzco a pardo grisáceo), en húmedo: 10 YR 3/3 (pardo oscuro).
C	80-85 cm	Los fragmentos de roca son predominantes, pasando hacia abajo a la roca probablemente "in situ"

CUADRO 2. Datos analíticos del perfil

Hor.	Prof. cm.	Granulometría			C.O %	pH		T	V	C/N
		2 u	2-53u	53-2,000 u		KCl	H ₂ O			
A ₁₁	0-20	11,65	83,30	5,05	5,67	6,1	7,4	49,7	60,9	8,9
A ₁₂	20-37	15,65	79,55	4,80	4,08	6,1	7,1	41,0	63,4	23,2
B ₁ (?)	37-60	15,65	75,80	8,55	3,57	6,1	7,4	36,25	58,3	22,8
B ₂ (?)	60-80	33,15	57,30	9,55	3,16	6,0	6,9	35,2	68,8	-

Rasgos: La presencia frecuente de glébulas de gibbsita en el horizonte A₁₁ es la característica más notable. En general son nódulos de forma redondeada y con dimensiones variables, pero la media se encuentra alrededor de los 400 u. La presencia de rasgos gibbsíticos disminuye en forma pronunciada en el horizonte A₁₂ estando casi ausentes en profundidad, los que en general son nódulos compuestos de una sustancia isótropa (gel) y gibbsita, siendo su morfología interna muy irregular.

Nódulos isótropos, en general, de forma redondeada o algo irregular, son observables en todo el perfil. En profundidad, geles isótropos en las vacuolas de las litorreliquias en forma cutánea y de cristalaria. Nódulos rojos, netos, redondeados, de material férrico, se presentan en todo el perfil pero en forma más bien ocasional.



Figura 2. Horizonte B₁. Litorreliquia basáltica rodeada por fisuras, en la cual se observan las matrices de los fenocristales plagioclásicos. Sin analizador, aumento 2,5 X.



FIGURA 3. Magnificación de la litorrelquia de la foto anterior, con nicoles cruzados. Obsérvese la gibbsita con textura radiada y alotriomórfica suturada. Aumento 6,3 X.

PROCESOS DE ALTERACION DE LOS MINERALES PRIMARIOS

1) Alteración de las plagioclasas

De acuerdo a la descripción de los cortes delgados de suelo, observamos en los horizontes superficiales la presencia de glóbulos de gibbsita, y por otro lado la transformación de las plagioclasas de las litoreliquias basálticas en geles isótropos y éstos cristalizando paulatinamente en gibbsita (Fig. 2, 3 y 4).

Este proceso de transformación de las plagioclasas con aparición de geles intermediarios, sería la manifestación de un régimen de drenaje particular (DELVIGNE, 1965) que permitiría la eliminación paulatina de los iones constituyentes del cristal feldespatico, mediante un proceso de intercambio entre la solución del suelo y la plagioclasa.

Cuando el drenaje no es excesivo, esa movilización de los elementos constituyentes del cristal se realizaría de acuerdo a la solubilidad diferencial de los mismos, y tendríamos así que el primer elemento extraído es el Na seguido del Ca. En consecuencia, el reemplazo de los iones Na^+ y Ca^{++} por los iones H_3O^+ debe conducir a la formación de una envoltura más o menos desorganizada alrededor de los fragmentos del feldespatito todavía inalterado. Esta capa parcialmente desorganizada es el gel isótopo observado en los cortes delgados del perfil.

Una vez que la extracción de cationes ha sido realizada por intercambio, la red cristalina está debilitada, los aniones pasan en solución o se acumulan siguiendo sus propiedades con respecto a los valores de pH. Así tenemos que para que se produzca la eliminación exclusiva de la sílice constituyente del feldespatito, el ataque debe realizarse en medio neutro, lo que trae como consecuencia que el mismo sea menos rápido y que debido a la diferente solubilidad de la sílice y el aluminio en estos valores de pH, la sílice sea eliminada. Por otra parte, para un mismo valor de pH, la eliminación de la sílice (así como la de los otros elementos) será acrecentada por la renovación continua de las soluciones que bañan el mineral en vías de alteración.

En consecuencia, a medida que la alteración progresa hacia el interior del feldespatito, se produce otra transformación que comienza en las fisuras que presentan los geles y que consiste en la aparición de la gibbsita como consecuencia de la solubilización progresiva de la sílice. Dado que todos los elementos del feldespatito pasan a la solución, resulta que la estructura cristalina de aquél no interviene en la estructura u orientación de los minerales neoformados, y así tenemos que los cristales de gibbsita se orientan generalmente en forma perpendicular a la red de fisuras y no en una dirección determinada por la red cristalina del feldespatito.

2) Alteración de los piroxenos

En el perfil estudiado, los granos de piroxeno provenientes de la roca madre basáltica se encuentran en su mayor parte alterados, proceso



Figura 4. Sector superior derecho de la gran matriz plagioclásica de las fotografías anteriores. Obsérvese el gel aluminosilíceico (A) transformándose paulatinamente en gibbsita (B). Nótese la deposición de material férrico (C). Nícoles semicruzados, aumento 16 X.

que se manifiesta más intensamente en los horizontes superficiales.

En estos horizontes, las aguitas muestran la acentuación de sus planos de clivaje, en los que se produce posteriormente la deposición de hidróxidos de hierro (goethita), Figura 5. Algunos de los granos de piroxeno observables presentan grandes cavidades de disolución sin formación de depósitos ferruginosos (Fig. 6 y 7), en tanto que en profundidad este mineral se encuentra menos alterado y en gran parte como constituyente de las litorreliquias basálticas.

El proceso de alteración de los minerales piroxénicos comienza con el intercambio de los iones H^+ de las aguas ácidas de infiltración, por

los cationes de la red cristalina, hecho que se produce por las vías de penetración más fáciles que son los planos de clivaje.

El pH en esa red de fisuras alcanza valores cercanos al pH de abrasión en los que el hierro que se encuentra al estado ferroso es liberado de la red cristalina y, si las condiciones de alteración son apropiadas, precipitan al estado de hidróxidos férricos. Por otro lado, en esos mismos valores de pH, el aluminio es solubilizado, lo que explicaría la ausencia de depósitos de gibbsita como producto de alteración de los piroxenos.

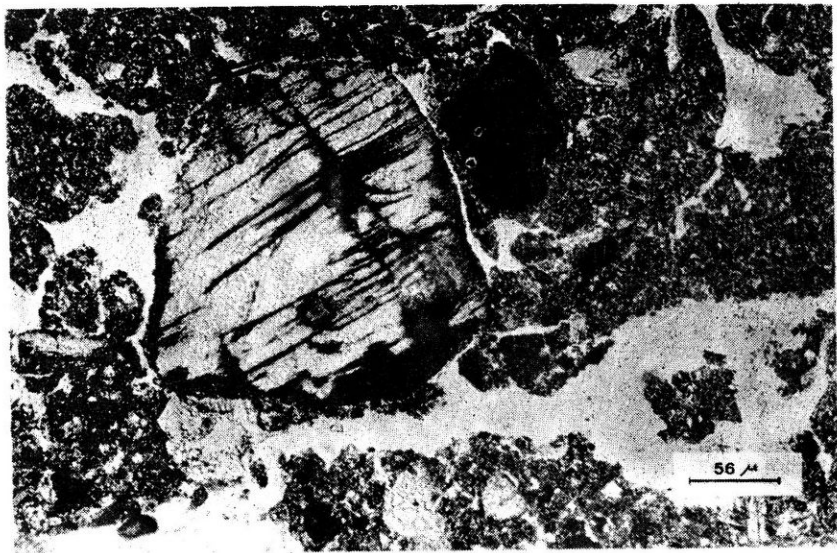


Figura 5. Horizonte B₁. Piroxeno en proceso de alteración, mostrando depósitos férricos en los planos de clivaje. Iluminación ordinaria, aumento 6,3 X.

3) Alteración de los olivinos

En el perfil "Santa Cruz I", los olivinos provenientes de la roca madre basáltica se encuentran completamente transformados en un mineral de color rojo o anaranjado que caracteriza a un producto de alteración denominado idingsita. En una buena proporción los granos de olivino se encuentran alterados solamente en los bordes, en forma de aureola. La forma de los granos es subangular o redondeada (Fig. 6).

La idingsita, un silicato hidratado ferromagnesiano, tendría su origen en un proceso de difusión y reemplazo de los cationes del olivino, en tanto que la red aniónica sufriría muy poco cambio. De acuerdo a DELVIGNE (1965), este mineral está compuesto por una mezcla de esmectita-clorita más pequeños cristales de goethita orientada; luego, en un paso posterior se produciría la liberación de la goethita por disolución de de los filosilicatos.

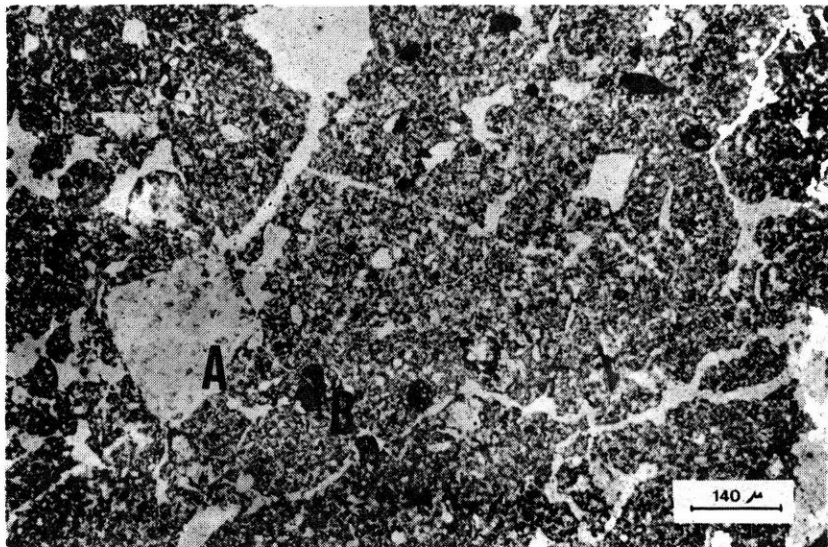


Figura 6. Horizonte B₁. En (A) piroxeno fuertemente alterado. (B) granos de olivino idingsitizado. Sin analizador; aumento 2,5 X.

La aparición de la idingsita como producto de alteración de los olivinos pondría también de manifiesto al carácter de buen drenaje de este suelo, puesto que en condiciones de drenaje defectuoso la alteración conduciría a la formación de la nontronita.

Es de hacer notar el hecho de que, si bien la secuencia normal de alteración de los minerales es olivino-plagioclasas-piroxenos, tenemos que en este perfil, habiendo desaparecido las plagioclasas y encontrándose los piroxenos en un grado considerable de meteorización, aún se conservan los olivinos. Esto sería atribuible a la idingsitización sufrida por los olivinos, lo que retardaría su desaparición del perfil.

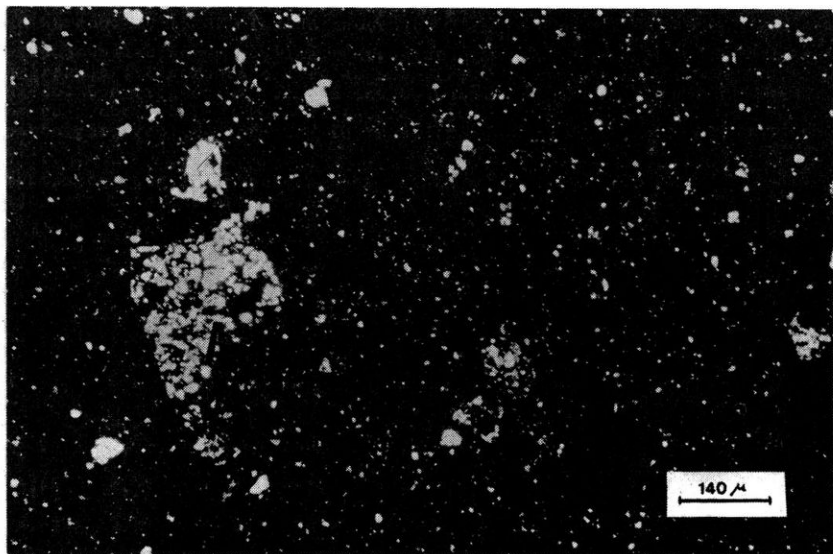


Figura 7. El mismo campo de la figura anterior, con nicoles cruzados. Nótese las cavidades de disolución del piroxeno (A), y el carácter del plasma.

DISCUSION

La observación en lámina delgada de las cavidades y agregados, pone de relieve una adecuada estructuración en el perfil y una abundante actividad biológica.

Por su parte, el carácter aséptico de la fábrica plasmática estaría motivado por el elevado porcentaje de materia orgánica, aunque la presencia de minerales de arcilla del tipo alofano sería también posible. Am bas sustancias por su carácter amorfo enmascararían la birrefringencia típica de las arcillas bien cristalizadas.

El esqueleto muestra una alteración pronunciada de los minerales que los constituyen. La alteración de los minerales primarios se produce por una solubilización de los elementos constitutivos al estado de iones; estas soluciones producen recristalizaciones que conducen a los hidróxidos, y en un paso posterior darían origen a los minerales arcillosos secundarios.

Las condiciones de drenaje de este perfil son buenas, dado que para que se produzca la transformación del ión ferroso de los minerales ferromagnesianos en hidróxidos férricos, el ambiente edáfico debe permitir los procesos oxidativos. Sin embargo, el drenaje no es excesivo puesto que para que tenga lugar la aparición de la gibbsita en la alteración de las plagioclasas, aquél debería ser tal que permitiera la solubilización progresiva de los distintos elementos y la visualización del proceso: plagioclasa ----- gel isótropo ----- gibbsita.

Las glébulas de gibbsita observables en los cortes delgados constituirían restos de plagioclasas alteradas "in situ", o bien serían producidas por la solubilización (quelación) y posterior recristalización del aluminio en las cavidades del suelo o del basalto. La presencia abundante de glébulas gibbsíticas en los horizontes superiores, en tanto que en los inferiores los mismos son escasos, es de difícil interpretación. Sin embargo podría suponerse relacionado con la incorporación del Al en la parte inferior del perfil, a los procesos de neoformación de los minerales de arcilla.

Los nódulos isótropos observados en todo el perfil posiblemente constituyen fragmentos o concentraciones del gel aluminio-silícico formado o en el curso de la alteración de las plagioclasas. La presencia en profundidad de algunos nódulos, en los que es dable observar zonas constituidas por un gel isótropo y otras por gibbsita, apoyaría esta suposición.

En cuanto a las concentraciones de material ferruginoso observadas, serían probablemente originadas en el transporte por las aguas de infiltración del hierro proveniente de la alteración de los minerales ferromagnésicos; este transporte se produciría como complejos ferroorgánicos o al estado ferroso en épocas de mayor pluviosidad, siendo redepositado en condiciones favorables al estado férrico.

La movilidad de los productos de alteración de los minerales pri-

marios a través del perfil, está claramente manifestada por hechos como la formación de glébulas gibbsíticas, formación de nódulos y deposición de material férrico en las cavidades de disolución de las plagioclasas, formación de nódulos compuestos de geles isótrofos y gibbsita, etc.

CONCLUSIONES

Los procesos de alteración de los minerales primarios del perfil "Santa Cruz I", así como sus características morfológicas, analíticas y micromorfológicas, nos indican que este suelo se encuentra en un estado relativamente joven de evolución, cuyo proceso se halla fundamentalmente condicionado al clima de la región y a su régimen hídrico interno y, en grado mucho menor, a la influencia de la roca madre.

De todos los datos analizados, también se desprende que el perfil presenta características intermedias entre las propias de la zona en que se halla ubicado ("de transición") y la tercera, de acuerdo a la zonación pedológica establecida por LARUELLE (1966) para los suelos de esta isla.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su agradecimiento al Prof. R. Tavernier (International Training Centre-Rijksuniversiteit Gent, Bélgica) y al Prof. G. Stoops (Geologisch Instituut - R.U.G.) por las facilidades acordadas para la realización del presente trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- BECKMANN, W. y E. GEYGER. 1967. Entwurf einer Ordnung der natürlichen Hohlraum-, Aggregat- und Strukturformen in Boden. p. 163-188. En: Die micromorphometrische Bodenanalyse, (ed. W. KUBIENA) Enke Verlag Stuttgart.
- BREWER, R., 1964. Fabric and Mineral Analysis of Soils. John Wiley & Sons, New York (470 p.).
- DELVIGNE, J., 1965. Pedogenese en zone tropicale. La formation de minéraux secondaires en milieu ferralitique. Dunod, Paris (117 p.).
- LARUELLE, J., 1966. Study of a soil sequence on Indefatigable Island. p. 87-92; En: The Galapagos Proc. Symp. Galapagos Intern. Sci. Proj., Berkeley.
- _____. 1968. Notes on soil micromorphology. International Training Centre-Rijksuniversiteit Gent. (83 p.).
- LARUELLE, J. y G. STOOPS. 1967. Minor elements in Galapagos soils. *Pedologie*, 17 (2): 232-258.
- OYAMA, M. y H. TAKEHARA. 1967. Revised Standard Soil Color Charts, Ministry of Agriculture and Forestry, Japon.