

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y EDÁFICAS DEL VALLE DE VALLEGRANDE. SU REPERCUSIÓN EN LA BÚSQUEDA DE LOS RESTOS DEL CHE.

Por Fernando Ortega Sastriques

Resumen

El valle de Vallegrande comienza a formarse en el Mioceno en la cúspide de un sinclorium; el valle recibió dos tipos de sedimentos: proluviales y eólicos que se interdigitaron durante el Plioceno-Cuaternario. Esta sedimentación ocurrió en un clima mucho más seco que el actual. El clima se hizo más húmedo en el Holoceno, sobre los sedimentos eólicos de textura limosa (loes) creció una vegetación abundante, pero el desarrollo de un horizonte impermeable (fragipán) en el seno de los loes aridizó el paisaje y empobreció los suelos. Aunque la formación del fragipán ocurrió en el pasado, este horizonte puede regenerarse en los lugares dónde sea destruido.

Se brindan las características estratigráficas y edáficas más favorables para la localización de enterramientos en el valle de Vallegrande.

Planteamiento del problema

Los restos humanos se pueden detectar, con la ayuda de animales entrenados al efecto, por las emanaciones de gases que se producen durante su descomposición; es posible detectarlos incluso muchos meses después del fallecimiento. Los olores, perceptibles por esos animales, se van atenuando hasta desaparecer al cabo de muy pocos años; a partir de ese momento se debe recurrir a otros métodos de detección.

En la práctica arqueológica, los enterramientos humanos se tratan de localizar a través de la detección de los objetos que acompañan a los cuerpos inhumados, que suelen ser más numerosos mientras más importante sea el personaje inhumado. Muchos de esos objetos son metálicos, fáciles de detectar por métodos geofísicos.

El problema es más difícil cuando se investigan poblaciones que desconocían los metales o hacían poco uso de ellos, como es el caso de los aborígenes de Nuestra América; sin embargo las búsquedas se pueden orientar sobre la base de la relativa persistencia de las costumbres funerarias de las poblaciones, que los hacían mantener patrones de enterramiento bastante constantes, lo que permite pronosticar, con algún grado de certidumbre, los lugares de inhumación (La Rosa y Robaina, 1994).

En el caso que nos incumbe, la búsqueda de los restos de los guerrilleros, no se contaba con estos dos recursos; los cadáveres se enterraron directamente en la tierra, sin ataúdes con sus clavos, con poca ropa y ésta carente de elementos metálicos significativos; si acaso, lo único que hubiera podido dar alguna débil señal hubieran sido las balas que pudieron haber quedado dentro de los cadáveres. Además, era de presumir que en el ejército boliviano no se hubieran impartido instrucciones inalterables sobre la forma de hacer desaparecer cadáveres, o sea, no se tenía un patrón que orientara el lugar de la búsqueda ni se conocía la forma de los enterramientos. Es más, si se hubieran considerado como el patrón para la búsqueda las características de los enterramientos encontrados previamente en Cañada del Arroyo, ésta no hubiera tenido éxito, pues se trató de inhumaciones superficiales, mientras que el grupo principal de restos humanos estaba a una profundidad de alrededor de dos metros.

Para localizar este tipo de enterramiento, el investigador lo que trata de encontrar es la evidencia de que la tierra fue removida, se buscan las huellas dejadas por la excavación, no los restos en sí, ya que estos no producen señales medibles.

Los suelos están constituidos por horizontes con propiedades físicas y químicas diferentes, al excavar se destruye ese orden natural, y al rellenarse de nuevo la excavación, los materiales de los diferentes horizontes se mezclan de forma caótica y siempre con una densidad menor que la que existía en los horizontes del suelo original. En el suelo ocurren procesos de traslación y transformación de sustancias que con el paso del tiempo hace que las propiedades químicas y físicas de los horizontes tiendan a restablecerse.

Las diferencias físicas y químicas hacen que la fertilidad efectiva del suelo removido difiera de la del suelo original, lo que a su vez puede reflejarse,

de diversas maneras, en la vegetación que crece en el lugar. Esas diferencias pueden detectarse en los trabajos de campo y pueden detectarse en imágenes aéreas. Pero esas diferencias también se van atenuando con el paso de los años.

Habían transcurrido casi tres décadas desde el asesinato de La Higuera, un lapso lo suficientemente amplio como para borrar o minimizar las diferencias de las propiedades del suelo originadas al mezclarse sus horizontes.

En principio es posible captar pequeñas diferencias físicas empleando métodos geofísicos, pero dado el bajo contraste entre los valores del suelo original y el alterado, se requieren métodos de alta precisión en su mayoría muy laboriosos.

La geofísica tiene a su disposición un arsenal bastante amplio de equipos capaces de determinar diversas propiedades físicas de los suelos y sedimentos; era necesario decidir entre los equipos disponibles, aquellos capaces de detectar las diferencias entre el suelo normal y el perturbado de la manera más rápida y eficiente posible. La experiencia previa pone en relieve la importancia de esta decisión; si se tiene en cuenta que el Equipo Argentino de Antropología Forense había empleado un potente georradar sin lograr el éxito de su misión a pesar de haber pasado el equipo sobre el lugar exacto del enterramiento principal.

La misión que teníamos por delante era determinar las características de los suelos y sedimentos del Valle de Vallegrande que pudieran ser utilizadas para determinar la perturbación de los estratos de suelos y sedimentos, para que sobre esa base se pudieran escoger los métodos geofísicos que optimizaran la búsqueda.

Materiales y métodos

El arduo trabajo previo de indagación había establecido que los lugares más probables de los enterramientos eran la pista vieja del aeropuerto y los alrededores del cementerio, incluyendo los terrenos del antiguo Rotary Club. Esa información reducía notablemente el área de búsqueda.

Los trabajos de caracterización de los suelos y sedimentos comenzaron en diciembre de 1996. Era importante realizarlos de la manera más rápida

posible. La premura del trabajo a realizar no hacía recomendable el análisis de las muestras en laboratorio; la Cátedra de Agronomía de la Universidad de Vallegrande carecía de laboratorios y el envío de las muestras a Cuba, la preparación de éstas y su análisis hubiera retrasado el trabajo. Por este motivo se prefirió apoyarse en la experiencia de campo de los investigadores participantes que fueron capaces de establecer las características principales con el empleo de métodos organolépticos: textura, por el método del amasado de la muestra húmeda; contenido de arena y tamaño de los granos, frotando la muestra húmeda sobre la uña; contrastes de colores, con la tabla Munsell; existencia y tipo de sales solubles, por degustación; carbonatos, por efervescencia ante el ácido de acumuladores (no fue posible adquirir ácido clorhídrico en Bolivia, por las restricciones respecto a ese ácido por ser empleado en la elaboración de la cocaína); pH con un equipo portátil; dureza, con un penetrómetro portátil.

La base topográfica detallada la confeccionó paralelamente el lic. José Ramón Andrade, miembro del grupo de trabajo.

Se contó con barrenas de mano para tomar muestras de suelos hasta 1,5 m; y con una barrena mecánica helicoidal que no permite tomar núcleos para su estudio detallado.

La erosión lineal es muy activa en todo el valle, existen numerosas cárcavas profundas que permitieron el estudio de perfiles de suelos y sedimentos en grandes extensiones sin haber tenido que recurrir a la apertura de calicatas o trincheras.

Como resultado de las investigaciones se escribió la obra “Geografía del valle de Valegrande, Santa Cruz, Bolivia” con un acápite sobre los métodos posibles para localizar enterramientos, la impresión muy limitada se hizo en el propio Vallegrande en febrero de 1997 (Ortega et al., 1997). En el presente trabajo se resumen los aspectos más notables de la obra de 1997.

En el año 1999, en el Centro para las Investigaciones Minero Metalúrgicas (CIPIMM) se realizó la determinación de los minerales que forman el estrato eólico de cobertura, estos resultados se presentaron en el Congreso Latinoamericano de las Ciencias del Suelo en el año 2002.

Geología histórica del valle de Vallegrande

Durante el Devónico y el Carbonífero el territorio era parte de una gran cuenca marina que recibía sedimentos desde diversas fuentes. La emergencia de estos sedimentos está vinculada con el nacimiento de los Andes en el Mioceno; el empuje de la placa de Nazca provocó el plegamiento de las formaciones geológicas de la zona subandina, formando una serie de cordilleras con orientación NNW, perpendiculares a la dirección del empuje de dicha placa. Una de esas cordilleras es la Del Bosque donde se encuentra el valle de Vallegrande.

La Cordillera Del Bosque es un sinclorium, en cuya cúspide se encuentra el anticlinal que conforma el valle en cuestión.

El Valle tiene una forma semejante a un huso orientado hacia NNW (azimut 345°), dirección dictada por la orientación del sinclorium. El eje tiene 14.5 Km. de largo, y su parte más ancha no excede los 4.5 Km., con una superficie de unas 3300 há.

Las corrientes fluviales existentes nacen en las elevaciones que se encuentran a ambos lados del Valle, para llegar a su centro y desde allí se canalizan hacia fuera del Valle a través de tres corrientes hacia el SSE el río Guadalupe; hacia el Norte el río Quina Quina, y hacia el NNW el río Ciénaga o Salitral, que es el de mayor caudal.

Es importante resaltar que por encontrarse el Valle en la posición más alta del sinclorium, éste no pudo recibir sedimentos fluviales alóctonos.

La relación entre las precipitaciones y la evaporación potencial en la zona es muy baja, el déficit de humedad se mantiene durante ocho meses del año (Encina, 1989), por esta razón los ríos tienen un caudal bajo e intermitente. La erosión fluvial es ligera, se ha concretado en el atrincheramiento de la corriente en los sedimentos del Plioceno-Cuaternario, sin erosionar, en el propio valle, a las formaciones basales del Paleozoico que logran aflorar, de manera ocasional, en el lecho de las corrientes principales.

El anticlinal que constituye el valle de Vallegrande recibió sedimentos durante el Plioceno-Cuaternario. Las formaciones geológicas del Devónico y del Carbonífero que afloran en las alturas que limitan al Valle por el Oriente y Occidente fueron la fuente de esos materiales. El metamorfismo de esas

formaciones no es muy elevado, los plegamientos no son muy enérgicos, por lo que el buzamiento de las capas en esa zona no suele superar los 20°. Predominan las areniscas y lutitas no muy compactadas. La escasa presencia de conglomerados y la relativa baja presencia de carbonatos sugieren que la sedimentación que prevaleció en la cuenca paleozoica fue en aguas moderadamente profundas y profundas, y que sólo ocupó posiciones cercanas a alguna costa a finales del Devónico.

Tomando como base el mapa geológico (Ministerio de Desarrollo de Ultramar, 1979) y de recorridos por las alturas, identificamos las formaciones geológicas que aparecen en la Tabla 1; se señalan algunas características de importancia para el problema planteado.

Tabla 1. Algunas características de las formaciones del Paleozoico que afloran en los alrededores del valle de Vallegrande

Formación	Período	Potencia Metros	Rocas predominantes	Minerales micáceos	Carbonatos
Icla	Carbonífero	400	Lutitas areniscas	Abundantes	Escasos
Huamampampa	Carbonífero	370	Areniscas lutitas	Presentes	Ausente
Tupambí	Carbonífero	700	Areniscas lutitas	Escasos	Presentes
Tarija	Devónico	n.d.	Areniscas conglomerados	Escasos	Ausentes
Scarpment	Devónico	n.d.	Areniscas lutitas	Presentes	Presentes

El pie de monte, de las alturas que bordean al Valle, está cubierto por una secuencia casi continua de abanicos proluviales. La propia ciudad de Vallegrande está edificada sobre uno de esos abanicos (Lam. 1). La naturaleza proluvial de los sedimentos se evidencia en la morfología del paisaje y en el carácter de los propios estratos: gravas y rocas angulares, poco o nada rodadas (Lam. 4), cuyo calibre se reduce a medida que se alejan de las alturas, límite superior subhorizontal declinando hacia el centro del valle.



Lam. 1 Foto satelital del centro del valle de Vallegrande. Ciudad de Vallegrande sobre abanico proluvial. Pista vieja de aeropuerto en rojo; Rotary Club en azul. Posición de los tres perfiles de suelo del anexo.

Estas capas de sedimentos proluviales se encuentran a más profundidad a medida que nos alejemos del pie de monte; 1.5 m en la cabeza de la pista vieja, 2 m en la parte media, 2.5 a 3 m en la cárcava del Rotary Club, 4 m en el basurero, y no aparecen en las orillas del río Ciénaga (Lam. 5; Ver las posiciones en la Lam. 1).

Los capas proluviales se encuentran interdigitadas, en forma débilmente discordante, con estratos sin estratificación visible, salvo en lugares aislados. La no concordancia sugería otra fuente de material, pero se debía descartar el origen aluvial por las características de la red hidrológica ya explicadas.

Lam. 2 Panorama del centro del valle de Vallegrande desde las alturas al Oeste de la ciudad.

1. Pista vieja del aeropuerto. Sitio del enterramiento del grupo del Che.
2. Cárcava de la pista. Profundidad del proluvio: groseros de 1.5 a 2m.
3. Cementerio.
4. Rotary Club. Sitio de varios enterramientos.
5. Cárcava del basurero. Proluvio de gravas a más de 4m.
6. Cárcava del Rotary Club. Proluvio de gravas a más de 3m.
7. Alturas del Este.

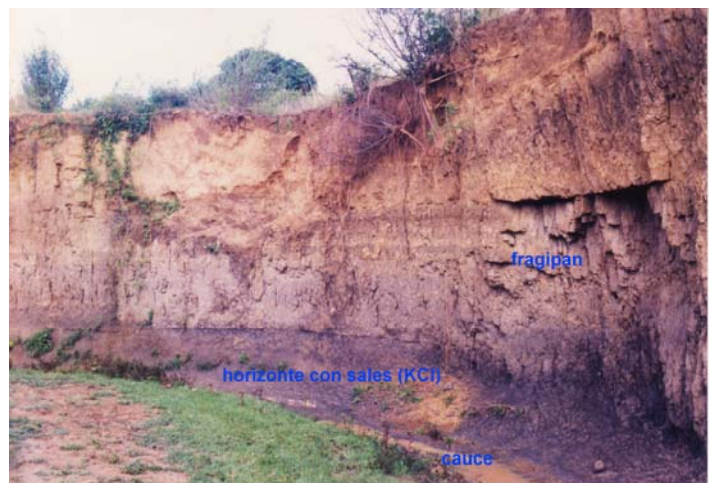


8. Trinchera del río Ciénaga. No alcanzada por los proluvios.
9. Pista nueva del aeropuerto.
10. Alcaldía de Vallegrande.
11. Cañón del Yaguari, afluente del Ciénaga, excavado en el abanico proluvial.

El segundo aspecto a destacar era la textura de esos depósitos. No era posible formar gusanillos al amasar la masa humedecida; lo cual significaba que el contenido de arcilla era muy bajo; tampoco se palpaba arenas gruesas, ni se encontró en ellos nunca gravas o cualquier tipo de material grosero. El cribado de la muestra, realizado en 1999 (Lam. 6), confirmó que se trata de un material muy bien seleccionado, constituido mayormente por limo y arena muy fina. Desde temprano llegamos al convencimiento de que estábamos ante depósitos eólicos, muy semejantes a los loes. Sin antecedentes bibliográficos o acceso a ellos desde Vallegrande, no pudimos formular una hipótesis adecuada sobre el origen de esos sedimentos (Ortega et al., 1997).



Lam. 3 Proluvio interdigitado entre dos capas de sedimentos eólicos.



Lam. 4. Pared del cañón del río Ciénaga. Desarrollo notable del fragipán. La capa eólica descansa en forma concordante sobre otro sedimento, posiblemente también eólico, saturado con sales solubles, donde predomina el sulfato de potasio. No se observan materiales proluviales. En el lecho del río afloran rocas del Paleozoico.

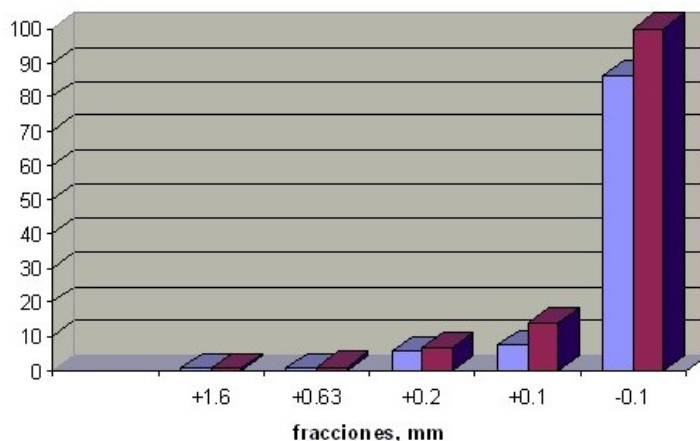
La extraordinaria buena selección sugería un transporte lejano; la ausencia de mica (Lam. 7), mineral conspicuo de las formaciones del Paleozoico aledañas al Valle (Tabla 1), reforzaba la hipótesis de un transporte alóctono.

Los loes son depósitos eólicos periglaciares muy comunes en América del Norte, Europa y Norte de China; en América del Sur se encuentran en Argentina, Uruguay y Paraguay, cubriendo el Norte de La Pampa hasta El Chaco. En los trabajos encontrados, de la década de 1990, no se considera

que los loes alcanzaran a Bolivia, ni siquiera a su región Sur, subandina (Savago, 1995; Iriondo, 1997); no fue hasta la década siguiente en que se corroboraba por otra publicación nuestra hipótesis de trabajo, al mencionarse, la presencia de loes en valles de las cordilleras subandinas de Bolivia (Muhs y Zarate, 2001).

La mineralogía de los sedimentos eólicos del Valle es diferente a la de los de la Pampa, pero es cercana a la del Chaco, descrita por Clapperton (1993), pues en ellos predomina el cuarzo y está ausente el vidrio volcánico. Este mismo autor sugiere que la fuente de estos sedimentos se encuentra en el Altiplano Boliviano.

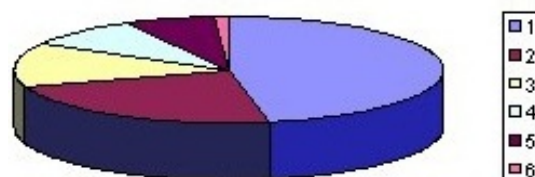
Resultados del análisis granulométrico



Lam. 5 Granulometría de los sedimentos de cobertura (eólicos). Según Ortega et al. 2002.

Composición mineralógica de loes

Lam. 6 Análisis mineralógico de los sedimentos de cobertura (eólicos). Según Ortega et al. 2002. 1 Cuarzo; 2 Caolinita; 3 Feldespato potásico; 4 Feldespato sódico; 5 Limonita; 6 Otros minerales: barita, carbonato, leucoxeno, óxido de manganeso, moscovita, rutilo, zircón.



Como los loes, y los abanicos proluviales son sedimentos de zonas áridas, y estos descansan directamente sobre las rocas del Paleozoico, sin corteza de intemperismo visible, se debe sugerir un clima árido desde fines del Mioceno; Muhs y Zarate (2001) también consideran la aridez del clima, al menos durante el Cuaternario. La deposición de los sedimentos eólicos fue sincrónica con los acarreoos esporádicos proluviales, lo que provocó la interdigitación ya mencionada (Lam. 3).

No se observaron suelos enterrados en los loes, tan comunes en Europa Central. Esto puede tener dos significados; o que la deposición ocurrió de manera ininterrumpida, lo que implicaría la existencia continua de un clima árido a lo largo de todo el Pleistoceno, hipótesis que nos parece improbable, pues desconoce las oscilaciones climáticas vinculadas con el ciclo glacial-interglacial; o que el mejoramiento del clima durante los períodos interglaciales, unido a las malas propiedades físicas de los suelos (que veremos más adelante) no fue favorable para la formación de horizontes superficiales con cantidades notables de materia orgánica capaces de mantenerse como testigos de pasadas pedogénesis.

Aunque no encontramos paleosuelos enterrados, sí vimos evidencias de al menos dos ciclos de sedimentación eólica (Lam. 5) se puede ver un contacto abrupto entre dos capas de sedimentos eólicos. Descartamos la hipótesis de que el límite sea producto de la influencia del manto freático actual o pretérito, pues sería suponer una elevación capilar totalmente uniforme, dado la perfecta horizontalidad del contacto.

Al período árido pleistocénico le sucedió un clima algo más húmedo, semejante al actual, que permitió que las corrientes fluviales se hicieran continuas y así excavaran su cauce, tanto en los abanicos proluviales como en los sedimentos eólicos.



Lam 7. Campesinas, madre e hija, en las cercanías de La Higuera, Vallegrande. Se aprecia el enanismo y el bocio endémico.

Aunque la humedad del último período permitió el intemperismo de algunos minerales primarios (drástica reducción de la mica en los proluvios) no fue capaz de lavar las sales solubles generadas al descomponerse esos minerales. En la lámina 5 se pueden apreciar las manchas blancas de sales

solubles, entre las cuales predomina el sulfato de potasio, se debe recalcar que por esa causa el río Ciénaga también se conoce como Salitral.

El predominio de esta sal se determinó por el sabor amargo de las sales potásicas y la ausencia de efervescencia ante el ácido sulfúrico. No estábamos en condiciones de establecer la presencia abundante del cloro, pues no teníamos ácido nítrico ni nitrato de plata (no previmos la posibilidad de encontrar sales solubles), pero descartamos esa posibilidad por dos razones: primero, el ión cloruro es de la misma familia geoquímica que el yoduro; en la zona la falta de yodo es tan fuerte que es frecuente ver enanismo y bocio (Lam. 8), enfermedades relacionadas con la carencia de ese elemento en los alimentos y aguas; por esa situación, en Bolivia, se intenta hacer obligatoria la adición de yodo a la sal de cocina (Rojkes de Alperovich, y Vargas Saignasse, 2006); por otra parte, aunque el anión calcio no es muy abundante en este paisaje geoquímico, encontramos una típica drusa de yeso en la pared de la cárcava del basurero, lo que refleja una relativa abundancia del anión sulfato.

Consideraciones sobre la capa impermeable (fragipán) de los suelos del valle de Vallegrande

En el anexo 1 se muestran las descripciones de tres perfiles de suelos de la zona; aunque se clasifican de manera diferente tienen en común la presencia, a pocos decímetros de la superficie, de un horizonte sumamente tenaz e impermeable, el cual se extiende por toda el área de búsqueda y en gran parte del valle de Vallegrande.

Dada la importancia que tuvo en la localización de los enterramientos, de su efecto sobre el movimiento del agua en el paisaje y sobre el crecimiento de los cultivos, por su importancia en la interpretación de la evolución paleoambiental y por el hecho de que no se han estudiado en esta región, con la profundidad adecuada, nos extenderemos en su explicación.

Casi todas sus características de este horizonte coinciden con las clásicas de los fragipanes, referidas en la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975: 42-44): entre las fracciones granulométricas predominan el limo y la arena muy fina (Lam. 6); una densidad mayor que los horizontes sobre y subyacentes; extrema dureza (la barrena helicoidal motorizada solo era capaz

de perforarlo al aplicarse una gran presión, ver. Lam. 9); los fragmentos extraídos del suelo se fragmentan a los pocos minutos de sumergirse en agua inmóvil; si se le aplica una fuerte presión a un fragmento húmedo, éste se fragmenta antes que deformarse; las raíces no lo logran penetrar, a excepción de algunas muy finas que logran penetrar escasos centímetros a través de los espacios entre los bloques (peds), estas raicillas están sometidas a fuertes presiones laterales que las deforman, presentan una sección ovalada en lugar de circular.

En el fragipán clásico, existe una ligera circulación vertical lenta del agua a través de las grietas entre bloques, esta circulación favorece la desferrificación local por lo que se forma un patrón de coloración típico del fragipán; un corte horizontal del suelo mostraría polígonos groseros o muy groseros con el perímetro con color blanquecino o más claro que la matriz. Los fragipanes del valle de Vallegrande no cumplen esta característica. Pero como se señala en la Soil Taxonomy (Pág. 44), este índice puede estar ausente.

En lugar de la decoloración de las fracturas entre los peds prismáticos, las del fragipán de Vallegrande muestran una coloración más oscura que la masa del suelo; se debe a que los prismas se encuentran recubiertos por películas (cutanes) de material fino que debe provenir del horizonte superior. Soil Taxonomy admite la existencia de películas de este tipo, pero discontinuas y finas; en Vallegrande son continuas y en ocasiones algo gruesas. Esa es la diferencia fundamental y única con las descripciones clásicas de fragipanes de otras latitudes.



Lam .8 Intento de perforar al fragipan con una barrena helicoidal motorizada.

El origen del horizonte fragipán no está suficientemente aclarado, en las primeras descripciones de los mismos se llegó a considerar que la compactación la había producido el enorme peso del hielo de los glaciares (Grossman y Carlisle, 1969). Los autores de Soil Taxonomy dan una serie de pruebas que dejan en claro el hecho de que el fragipán tiene un origen propiamente edáfico. Coincidimos con ese criterio al cual se puede aportar que los pedos de los fragipanes de Vallegrande a menudo presentan conductos rellenos de material más oscuro, de la misma naturaleza y color que la de los mencionados cutanes. Eso quiere decir que antes de que se formara el fragipán, existió una actividad radical y de la mesofauna edáfica que produjo esas galerías, con posterioridad rellenas con el material del horizonte superior. La excavación de galerías no es un proceso contemporáneo, como vimos, las raíces no logran penetrar este horizonte y no se ven larvas o gusanos taladradores del suelo.

Otro aspecto a destacar es que el material que rellena esas galerías muy a menudo es incluso más oscuro que el material del horizonte superficial, es como si proviniera de un suelo con un horizonte A mollico, más rico que el sobreyacente, ócrico. Consideramos que es precisamente así. Una vez que se forma el fragipán el régimen hídrico del suelo cambia por completo; el agua no logra atravesar este horizonte y fluye por sobre él para perderse en las vertientes.

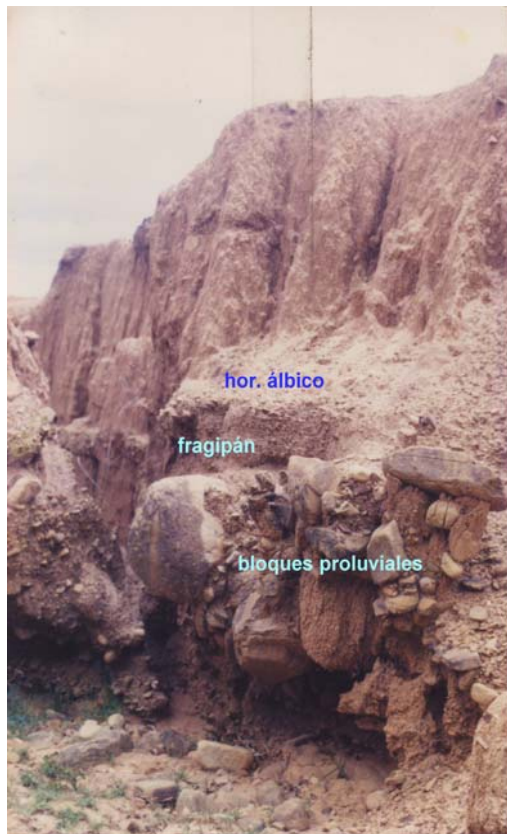
La primera consecuencia del surgimiento del fragipán es la drástica reducción de la capacidad de almacenamiento de agua útil para las plantas, que tendrán que conformarse con la que logre conservarse en los 15-60 cm. de suelo que cubren al fragipán. Se acentúa la aridez edáfica del paisaje y su capacidad de humificación, así los suelos reducen su capacidad de conservar materia orgánica y adquiere colores más claros.

En las depresiones de la superficie del fragipán se forma un manto colgado, como los suelos son ácidos, el proceso de ferrólisis puede desencadenarse con relativa facilidad, el resultado es la decoloración local del horizonte que sobreyace al fragipán (Lam. 3).

Al establecerse un flujo preferentemente horizontal intrusuelo del agua, se crean condiciones para el lavado lateral de las ya escasas arcillas (proceso

de empobrecimiento), no es raro encontrar suelos donde la capa superficial es sólo arena muy fina con estructura laminar muy débil.

El contraste de color y textura existente entre el material transportado hacia el horizonte inferior, que cubre las paredes verticales de los prismas del fragipán, y el material que constituye el horizonte que sobreyace al fragipán, evidencia un notable empobrecimiento de este horizonte superficial; lo que parece decir que el fragipán comenzó a formarse en un pasado no muy reciente, bajo una vegetación diferente, más abundante. Sin embargo esto no significa que en estos momentos no existan condiciones para que se forme ese tipo de horizonte.

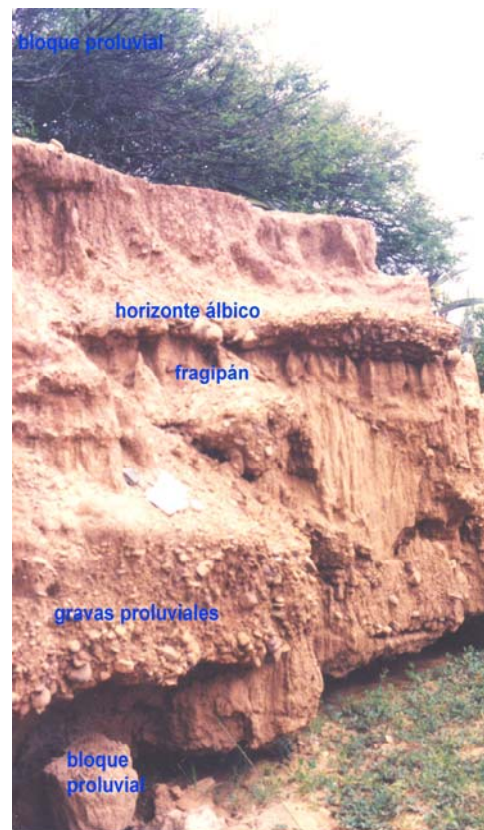


Lam.9 Pared de la cárcava del aeropuerto.

Estratigrafía: depósito eólico sobre el cual se ha desarrollado un horizonte álbico directamente sobre un fragipán poco potente, el cual yace casi directamente, de manera discordante, sobre:

2) una capa débilmente subhorizontal proluvia de gravas angulares (lutitas bastante intemperizadas) y bloques groseros algo redondeados de cuarcitas, pasa de forma abrupta a:

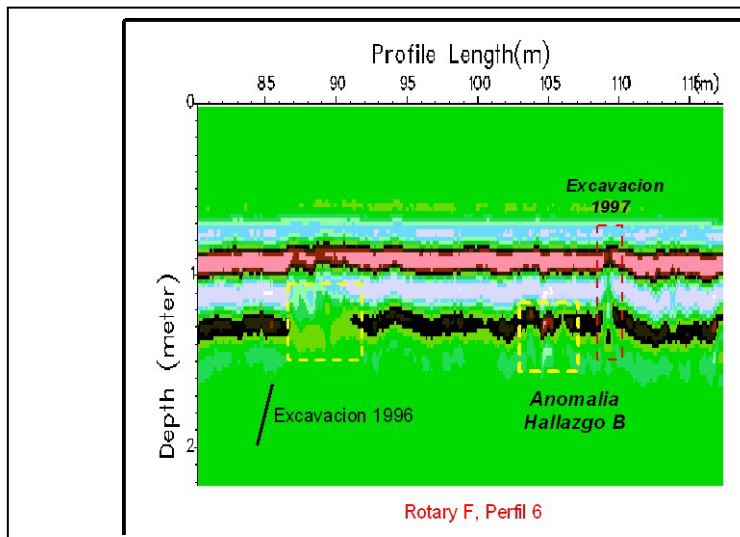
3) sedimento eólico.



Lam. 10 Pared de la cárcava del aeropuerto. Mas

alejado del pie de monte que Lam. 9. La misma estratigrafía, pero se ve con claridad el menor tamaño de las gravas y como la capa se va haciendo cada vez más delgada. El fragipán está desarrollado más cerca de la superficie dentro del sedimento eólico sin contacto con el proluvio.

Los muy contrastantes contenidos de humedad de los diferentes estratos que conforman estos suelos, provocados por las características hidrofísicas del fragipán, se reflejan de forma muy manifiesta en los perfiles geoelectricos de estos suelos. En la lámina 10 se puede ver un perfil geoelectrico muy ilustrativo realizado el mes de mayo de 1997; en él se muestra con mucha claridad la destrucción del fragipán provocada por una excavación realizada por el Equipo Argentino de Antropología Forense en el año anterior (1996); mientras que las huellas dejadas por el enterramiento realizado 30 años antes son mucho menos evidentes. Eso parece querer decir que en el curso de tres décadas los procesos edáficos volvieron a generar, al menos de forma incipiente, el horizonte impermeable.



Lam. 11 Perfil del sondeo eléctrico realizado por Noel Pérez en 1997. Se manifiesta bien la estratigrafía motivada por la existencia del fragipán; la destrucción de la capa por una excavación realizada en el 1996 y la anomalía menos evidente por el enterramiento realizado en el 1967; hallazgo B realizado en 1997.

Características edáficas y estratigráficas que pudieron ser índices para la búsqueda de enterramientos.

1. El fragipán

Induce una acumulación de humedad en su superficie superior posible de poner en evidencia por mediciones geoelectricas.

Su cercanía a la superficie permite detectar sus interrupciones con un penetrómetro.

2. Los proluvios interdigitados

Si el enterramiento se hubiera efectuado alcanzando algún horizonte proluvial, en la superficie del terreno hubiera aparecido un patrón anómalo de gravas (inexistentes en los loes).

Además el contenido de potasio hubiera aumentado en los horizontes superiores, lo que es detectable por espectroradiometría.

Conclusiones

Las investigaciones básicas realizadas permitieron escoger adecuadamente los métodos geofísicos más prometedores para la localización de enterramientos.

Como resultado de las investigaciones se constató la existencia de sedimentos eólicos (loes) en los valles intramontanos de las cadenas subandinas y la presencia el desarrollo de un fragipán en esos sedimentos; informaciones que no existían en esos momentos (1997) y que aún no es bien conocida.

ANEXO 1

Descripción de perfiles de suelos

Perfil 1.

Clasificación: Ochreptic Fragiudalfs

Rocas madres: sedientos eólicos y proluvios; interdigitados.

Situado en el talud al norte de la pista vieja del aeropuerto.

Hor.	Prof. cm.	Descripción
A _{1,1}	0-7	Pardo (10YR 4/4) en húmedo, estructura polvosa con tendencia a laminar grosera, muy imitable, loam arcilloso arenoso, con gran abundancia de arena muy fina, prácticamente limo, silicea, pocas raíces, límite rápido y regular.
A _{1,2}	7-10	Naranja amarillento apagado (10YR 6/4), el interior de los pedos es algo más oscuro. Pardo (10YR 4/4), bloques subangulares medios, muy tenaces en seco, húmedos se disgregan con facilidad en agregados primario granulares pequeños o medio, pocas raíces, límite paulatino y regular.
AB	10-13	Naranja amarillento apagado (10YR 6/4), los agregados están cubiertos por películas (cutanes) color pardo (10YR 4/4) discontinuos y finos, estructura en bloques subangulares, medios estables, estructura secundaria granular media estable, limo arcilloso, más limoso que el anterior, límite abrupto y regular.
IIB	13-45	Pardo amarillento apagado a naranja amarillento apagado (10YR 5/4 a 6/4) todas las superficies verticales están cubiertas por películas finas a medias color negro parduzco (7.5R 3/2), estructura prismática media, resistente, arcillo limosa, muy densa y tenaz; en el interior de los primas hay conductos de 4-5 mm de diámetro rellenos de material oscuro (7.4YR 3/2) negro parduzco; límite paulatino y ondulado.
IIBC	45-78	Naranja amarillento apagado (10YR 6/4), desaparecen las películas de color oscuro, estructura en bloques angulares y subangulares groseros, ocasionalmente con poros anchos rellenos de material algo más oscuro, límite abrupto y regular.
IIIC	78-101	Capa de gravas pequeñas, la mayor parte laminares (lutita intemperizadas), bien seleccionadas por tamaño, empaquetadas de forma compacta paralelas subhorizontales, débilmente cementadas con carbonato; límite abrupto e inclinado.
IVC	101-168+	Naranja amarillento apagado (10YR 6/4) limo arcilloso

El horizonte IIB es un fragipán, subyacente a una capa posiblemente transportada; después de haberse barrido el horizonte A original del suelo en un ciclo anterior (ver que el relleno de los poros y cutanes son más oscuros que el horizonte A actual); sin embargo, es posible que sea un sedimento eólico homogéneo, y que el horizonte A se haya empobrecido como consecuencia del deterioro de las propiedades física del propio suelo (hipótesis que se desarrolla en el texto).

En la superficie se desarrolla un activo proceso de lavado lateral de arcilla; o bien es una capa transportada.

Es discutible el haber colocado al suelos entre los Udalfs ya que el grupo exige un clima Udico; mientras que en el Valle el clima es Ustico; sin embargo consideramos que es un suelo que se desarrolló en un clima más húmedo que el actual; hipótesis desarrollada algo más en el texto.

Perfil 2

Clasificación: Typic Ustropepts

Roca madre: sedimentos eólicos. La primera capa proluvial está a más de 2 m de profundidad.

Ubicación: pared de una cárcava inmediata al sur de la pista vieja

Hor.	Prof. cm.	Descripción
A	0-58	Pardo (10YR 4/4), estructura bloques subangulares medios muy tenaces en seco, húmedo se disgrega con facilidad en agregados primarios granulares medios, raíces abundantes; límite paulatino y regular.
IIB	58-92	Pardo amarillento apagado (10YR 5/4), todas las superficies verticales están cubiertas por películas finas o medias de color parduzco (7.5YR 3/2); estructura prismática media, resistente, arcillo limoso, más denso y tenaz en el interior de los peds hay conductos de 4-5 mm de diámetro con material más oscuro negro parduzco (7.5YR 3/2) con una textura menos limosa y más arcillosa que el resto del suelo; límite paulatino y ondulado.
BC	92-120	Naranja amarillento apagado (10YR 6/3), desaparecen las películas oscuras, estructura en bloques angulares y subangulares groseros, ocasionalmente con poros rellenos de material pardo con puntos negros.

En esencia los perfiles 1 y 2 son muy semejantes; sin embargo, de acuerdo a las reglas de Soil Taxonomy deben separarse, pues en este último perfil el horizonte endurecido sobrepasa en 8 cm. la profundidad necesaria para ser considerado como el taxón anterior.

Por otra parte no se observó el horizonte empobrecido débilmente laminar, pero dada la gran inestabilidad del mismo, bien pudo haber sido arrastrado por la erosión hacia la cárcava.

Perfil 3

Clasificación: Typic Haplustalf

Roca madre: sedimentos eólicos. La primera capa proluvial está a 2.5 m de profundidad.

Ubicación: Pared de la cárcava al sur del Rotary Club

Hor.	Prof. cm.	Descripción
A ₁₁	0-9/16	Pardo oscuro (7.5YR 3/4) estructura nuciforme grosera a muy grosera, con tendencia a bloque subangular fino, estable; estructura secundaria granular media a fina, estable; loam arenoso muy friable poco adherente, casi sin plasticidad. Muchas raíces, límite neto y ondulado.
A ₁₂	9/16-31	Pardo rojizo muy oscuro (5YR 2/3), estructura bloques subangulares groseros estables, estructura secundaria granular muy fina; loam limoso, no adherente, nada plástico, friable pero menos que el anterior, muchas raíces; límite paulatino regular.
AB	31-34/38	Pardo oscuro (5YR 3/3), estructura bloques subangulares o angulares groseros poco estables, se rompen en bloques subangulares finos poco estables; loam arenoso pero con más arcilla que los anteriores; no adherente, no plástico. Raíces, límite paulatino y ondulado.
B _{1Ca}	34/38-60	La cara externa de los pedrs es pardo amarillento apagado (10YR 5/3), el interior puede tener igual color o en ocasiones pardo amarillento grisáceo (10YR 4/2) en dependencia de la presencia o no de carbonato; en la superficie del talud han precipitado carbonatos que le confieren a la superficie expuesta un color gris parduzco (5YR 6/1); estructura en bloques angulares groseros y firmes; loam arcilloso, ligera adherencia, algo plástico, pocas raíces. Límite regular y rápido.
B ₂₁	60-72	Negro parduzco (7.5YR 3/2), la parte superior del horizonte presenta ocasionalmente películas pardo grisáceas (5YR 6/2); estructura en bloques angulares medios, muy firmes cuando secos, húmedos algo firmes; limo arcilloso, poco adherente, plástico; raíces muy finas sólo en las caras de los agregados. Límite neto y ondulado.
B ₂₂	72-85	Pardo oscuro (10YR 3/3), presenta vetas subhorizontales gris claro (7.5Y 8/2); bloques angulares medios extremadamente resistentes con tendencia a formar una estructura más compleja, prismática grosera poco estable; el horizonte se presenta muy seco a pesar e las constantes lluvias; los agregados colapsan al mojarse; húmedo es ligeramente adherente y plástico, algo friable. Límite paulatino y regular
IBC	85-250	Pardo (7.5YR 4/4), estructura en bloques angulares medio, algo firmes, algunas raíces. Límite abrupto e inclinado.
IIC	250-310+	Pardo (7.5YR 4/4) en una matriz arcillo limosas encuentran gran cantidad de gravas de cuarzo (80% de la superficie del corte) pequeñas y medias no muy bien seleccionadas, aunque se van haciendo mas gruesas hacia la base, también trozos de arenisca y lutitas, estas últimas muy alteradas, del mismo color que la matriz en que se encuentran.

El fragipán poco potente se ha desarrollado a más de 50 cm. de profundidad, aunque el propio horizonte no muestra carbonatos libres, es un medio rico en calcio, ya que en el horizonte sobreyacente circulan soluciones saturadas con bicarbonato de calcio.

La presencia de carbonatos en el perfil permitió el desarrollo de un perfil A con propiedades cercanas a las del A mólico, pero sin alcanzarlas plenamente.

Bibliografía

- Clapperton, C. (1993): *Quaternary geology and geomorphology of South America*. Elsevier, Amsterdam, 799 pp.
- Encina Guzmán, M. (1989): *Estudio de suelos de la Provincia de Vallegrande, Santa Cruz, Bolivia*. CORDECRUZ, PNUD, FAO. Vallegrande, 55 pp. + anexos.
- Grossman, R.B., y Carlisle, F.J. (1969): Fragipan soils of the eastern United States. *Advan. Agron.*, 21: 237-279.
- Iriondo, M.H. (1997): Models of deposition of loess and loessoids in upper Quaternary of South America. *J. South American Earth Sci.*, 10: 71-79.
- La Rosa Corzo, G., y Robaina Jaramillo, R. (1994): *Infanticidio y costumbres funerarias en aborígenes de Cuba*. Multigraf, La Habana, 58 pp.
- Ministerio de Desarrollo de Ultramar (1979): *Mapa geológico de la región de Vallegrande, 1:250 000*. Servicio Oficial de Topografía del Gobierno Británico, Londres, 1 hoja.
- Muhs, D.R., y Zarate, M. (2001): Late Quaternary aeolian records of the Americas and their paleoclimatic signification. *Interhemisphere climate linkages*, Academic Press, Nueva York, 183-216 pp.
- Ortega Sastriques, F., Cid Lazo, G., y Rodríguez Suárez, R. (1997): *Geografía del valle de Valegrande, Santa Cruz, Bolivia*. Vallegrande, 45 pp. + anexos.
- Ortega Sastriques, F., Pérez Martínez, N., Fernández Sago, R., y Rodríguez, J. (2002): Características edáficas de Vallegrande (Bolivia) que favorecieron la localización de los restos de los guerrilleros. *CDROM del Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*, Varadero.
- Rojkes de Alperovich, B.L., y Vargas Saignasse, G. (2006): *Enriquecimiento de la sal para consumo humano*. Trámite parlamentario 102. N° de Expediente 4269-D-2006, Imprenta del Congreso de la Nación, Bolivia.
- Savago, J.M. (1995): The Argentine neotropical loess: An overview. *Quaternary Science Reviews*, 14: 755-766.
- Soil Conservation Service (1975): *Soil Taxonomy, A basic system for making and interpreting soil surveys*. U.S. Department of Agriculture, Washington, 754 pp.