1.2.8.8 Volcanes de Limo-Arena

Hutchinson y Kojan (1975) comentaron que pequeños e inactivos volcanes de arena se observaron el 16 de Junio sobre la superficie entre el lomo y hacia el norte del acantilado en la abertura de la quebrada Tinte, más nó el cuerpo principal del flujo de escombros.

Se contaron 35 volcanes dentro de un área de 20 m. de largo por 1 a 4 m. de ancho situados a 10 y 30 m. de la base del acantilado. Sus cráteres centrales variaron entre 5 y 50 cm. de diámetro y generalmente ocuparon los centros de los montículos cónicos de arena fina limosa de 0.2 a 1.0 m. de radio y con talud de los lados de 12° a 13°. Estos volcanes se localizaron a 2,665 m.s.n.m., que está 40 m. más alto que el nivel del lago embalsado. Esto indica la fuga de agua bajo presión artesiana. Estos pueden haber tenido lugar en la parte alta de la quebrada Ccochacay en el curso de la transformación del deslizamiento de roca en flujo de escombros o por el agua del río atrapada por el flujo de escombros. Los excesos de presiones podrían haberse derivado totalmente o en parte de la carga no drenada producida por el retroceso del escombros. Muchas áreas grandes de volcanes inactivos de limo o barro se observaron entre el 18 y 20 de Junio en áreas planas expuestas sobre el lado aguas arriba de la presa y en el lado sur-este del río Mantaro. Estos volcanes fueron ligeramente más grandes que aquellos descritos anteriormente.

1.2.8.9 Litología del Material de Deslizamiento en el Cauce del río Mantaro.

Taype (1976) estimó que la masa acumulada en la margen izquierda proveniente de la primera etapa del deslizamiento era la más elevada y estaba compuesta por material incoherente de color rojizo a morado. El material deslizado en la margen derecha del río Mantaro se despositó por encima del material anterior en la segunda etapa del deslizamiento. En general, se puede decir que todo el material en conjunto formó una masa conglomerádica de granulometría heterogénea semi compacta de apariencia impermeable; en ella se apreció el siguiente porcentaje en forma global:

-Bloques de roca (areniscas) de diámetro 2 a 3 m.	20%
-Bloques de roca (areniscas) de diámetro 0.50 a 1.0 m.	10%
-Gravas o Clastos de diámetro 0.10 a 0.50 m.	30%

-Arenas, lodolitas y arcillas	40%
	—————
	100%

1.2.8.10 Estudio del Modelo Hidráulico

Los estudios fueron realizados en el Laboratorio Nacional de Hidráulica de la Universidad Nacional de Ingeniería en Lima, bajo el patrocinio del Ministerio de Agricultura. Los resultados fueron presentados en dos reportes (Humala y otros, Mayo de 1974 y Ministerio de Agricultura, 3 de Junio de 1974). Ambos fueron publicados antes que rebosara la presa el 8 de Junio.

El equipo de inspección enviado al lugar perforó 4 pozos a lo largo de la parte más baja del canal de escurrimiento hasta una profundidad máxima de 4 m. y algunas muestras de suelo fueron recuperadas. El análisis del tamaño de los granos de estas muestras y las medidas de las rocas grandes se muestran en la Fig.15. El tamaño máximo de estos bloques es de 1 m. pero los reportes anteriores mencionados citaron que las rocas exceden los 3 m. de diámetro.

Según Lee y Duncan (1975), el modelo fue construido de arena disponible en el laboratorio. Cuatro tipos diferentes de arena fueron usados para varios ensayos. La distribución del tamaño de los granos se muestra en la Fig. 15.

El primer modelo de ensayo fue concerniente al estudio de la naturaleza y relación de erosión del escombros cuando rebosó. Estos ensayos se realizaron en modelos no distorsionados a escalas de 1:500, que fueron completados y reportados el 23 de Mayo de 1974, y 1:250 el 3 de Junio de 1974 respectivamente. Los resultados de ambos ensayos fueron similares. Se realizó un tercer modelo de ensayo usando una escala distorsionada 1:5000 horizontal y 1:250 vertical para estudiar la naturaleza de la inundación aguas abajo de la presa.

Un resumen de los resultados del modelo no distorsionado 1:250 para estudiar el flujo de erosión a través de la presa se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6

Predicción del modelo hidráulico y observaciones actuales para descarga del reservorio.

Modelo Hidráulico	E n s a y o N°				Observación actual
	1	2	3	4	
- Profundidad de erosión en el escombros de la presa (m).	110	103	96	105	107
- Volumen de material erosionado (106m ³)	640	630	610	630	400
- Tiempo para el vaciado del lago (Hr)	12	20	28	29	12
- Flujo máximo de descarga durante 15 minutos pico (m ³ /seg)	23,000	18,000	18,000	12,000	10,000
- Promedio de flujo de descarga (m ³ /seg)	14,000	9,000	6,000	6,000	-----

Nótese que la profundidad de erosión y volumen de escombros erosionado fue aproximadamente predicho, así como el orden de magnitud de la relación de máxima descarga y el tiempo requerido.

1.2.8.11 Aspectos Sismológicos

El sismógrafo de la región registró fuertes vibraciones en el momento del deslizamiento, debido a que el área es sísmicamente activa; existe una cuestión inmediata si el deslizamiento fue accionado por un sismo. El Instituto Geofísico encargó esta tarea y otros aspectos sismológicos a Berrocal (1974).

El registro de la sismicidad del área dentro de un radio de 100 a 150 km. del deslizamiento se muestra en la Fig. 16; este mapa muestra las localidades de todos los sismos registrados de magnitud mayor que 4 en el período de 1911 a Mayo de 1974. Berrocal consideró que la actividad de la región fue relativamente baja. Únicamente un sismo en esta zona durante este período de 63 años tuvo una magnitud de aproximadamente 6.0. Uno de los dos sismos localizados más cercanos al deslizamiento ocurrió el 14 de Marzo de 1974, seis semanas antes del deslizamiento y tuvo una magnitud de 4.3; es posible que este sismo haya podido haber aflojado el suelo, contribuyendo al deslizamiento. Berrocal (1974) sugiere que es altamente remoto e improbable. La profundidad focal de este sismo fue del orden de 100 km., de modo que la superficie sacudida sería muy pequeña. El deslizamiento fue de gran tamaño, y la onda sísmica producida se registró en al menos 4 estaciones sísmológicas en los Andes, ver la Tabla 7.

Tabla 7

Registro de las estaciones de sismógrafos de la onda de tierra producida por el deslizamiento sobre el río Mantaro el 25 de Abril de 1974.

Estación	Abreviación	Distancia desde el deslizamiento (km)
Huancayo	HUA	82
Naña	NNA	240
Arequipa	ARE	580
Las Penas	PNS	889

En la Fig. 17 se muestra una copia del movimiento vertical registrado en Huancayo, a 82 km. de distancia. Este registro fue hecho sobre el período de instrumento de 1 segundo que pasa considerablemente a movimiento de alta frecuencia. Nótese que la duración total del sacudimiento fue del orden de 3 minutos.

Lee y Duncan (1975) mencionaron que el sacudimiento del suelo del deslizamiento principal fue diferente al de un sismo tectónico; la fórmula usual para el cálculo de la magnitud del registro sísmico no se aplicaría necesariamente. Sin embargo, el uso de las

fórmulas con factores de corrección basados en varias suposiciones llevaron a un estimado equivalente de una magnitud entre 3.7 y 4.7. El registro sismográfico jugó un papel importante en la opinión concerniente al mecanismo del deslizamiento, así como la distancia de desplazamiento de la masa (cerca de 7 km.) y el tiempo de sacudimiento (cerca de 3 minutos); se calculó una velocidad promedio de 140 km/hora.

Una descripción del mecanismo del deslizamiento fue adelantado por Berrocal (1974) en base a los registros sismográficos, distinguiendo 3 etapas, que fueron atribuidas a diferentes aspectos del deslizamiento, éstas son:

- Etapa 1.- Un completo y limpio periodo de 20 a 24 segundos. Fue sugerido que éstos correspondieron a la rotura principal cuando una gran porción del material se liberó del suelo y comenzó a deslizarse, de este modo desprendiéndose considerable energía elástica como la masa liberada del suelo subyacente.
- Etapa 2.- Un tren de amplitud irregular de ondas de periodo corto. Se sugirió que estas ondas correspondían a la masa de material deslizando hacia la parte baja y golpeando el fondo del río y llegando hasta la quebrada Tinte.
- Etapa 3.- Pequeñas amplitudes de periodos cortos de ondas (2 segundos) superpuestas sobre periodos más grandes de ondas. Se sugirió que esta etapa final comprende a deslizamientos secundarios de material de los lados de la escarpa y grandes bloques de roca deslizando o rodando hacia abajo de la parte superior de la escarpa.

1.3 EL SISMO DEL 31 DE MAYO DE 1970

1.3.1 Ubicación del Area Afectada

De acuerdo a Deza y otros (1984), el sismo se ubica en la región central del Perú, al norte de Lima. Dentro de este territorio, la cordillera occidental de los Andes se divide en dos ramales paralelos al eje longitudinal andino; estos ramales son conocidos como Cordillera Negra (rama occidental) y Cordillera Blanca (rama oriental), ambos forman el valle del río Santa, conocido también como Callejón de Huaylas, ver Fig. 18.

1.3.2 Historia Sísmica

Silgado (1978) hizo reseña de los terremotos que han ocurrido en la zona de influencia sísmica:

19 de Febrero de 1619.

El sismo se sintió a lo largo de 200 kms. de la costa y 300 kms. hacia el interior, originó destrucción en la ciudad de Trujillo y probables daños en el Callejón de Huaylas y Chimbote. Los sismos posteriores que causaron daños mayormente en Trujillo ocurrieron el 10 de Febrero de 1635 y el 14 de Febrero de 1658.

6 de Enero de 1725.

Originó daños en Trujillo. En la Cordillera Blanca se originó la rotura de una laguna glaciar, al desbordarse ésta, arrasó un pueblo cercano a Yungay.

2 de Setiembre de 1759.

Algunos daños de edificios en Trujillo y de las localidades de la serranía; no se tiene mayores datos.

21 de Junio de 1937.

Daños leves en Trujillo, Lambayeque y Salaverry, así como en Cajamarca y Cutervo, con intensidad de VI MM, Chimbote y Casma V y Callejón de Huaylas IV en la escala Mercalli Modificada.

24 de Mayo de 1940.

Fue destructivo para Lima, cuya intensidad para esta área fue de VIII, Chimbote y Huaraz VI en la escala Mercalli Modificada; en el Callejón de Huaylas se produjeron derrumbes y deslizamientos.

10 de Enero de 1946.

Ocurrió un sismo que afectó Pallasca y Pomabamba, 100 kms. al norte de Huaraz con magnitud 7 Ms. El sismo estuvo asociado a un movimiento de fallamiento normal con un desplazamiento vertical máximo de 3.50 m. En áreas próximas al epicentro se produjeron derrumbes y deslizamientos.

14 de Febrero de 1948.

Fue la réplica de mayor energía del sismo anterior y produjo daños en las áreas próximas, sin haber afectado la región del Callejón de Huaylas y Huaraz mismo.

18 de Febrero de 1956.

Fue destructor en el Callejón de Huaylas. En Carhuaz el sismo originó daños en las viviendas. Podría estar conectado al sismo de fallamiento activo del flanco oriental de la Cordillera Blanca.

3 de Julio de 1961.

Originó daños leves en Chimbote con magnitud VII MM y gran alarma en Huaraz.

18 de Abril de 1962.

Causó leves daños en las construcciones de adobe de Casma y Huaraz, aparte de los deslizamientos de relaves de Quiruvilca.

24 de Setiembre de 1963.

Ocurrió un sismo destructor en algunos pueblos de la Cordillera Negra, sufrieron averías las construcciones de adobe; los regadíos, canales y caminos fueron afectados por deslizamientos y derrumbes. El epicentro fue ubicado en el mar a 80 Km. de Huarmey, cuya magnitud fue de 7 Ms.

1.3.3 El Sismo y sus Réplicas

De acuerdo a Lomnitz (1970), un terremoto de magnitud 7.75 en la escala de Richter se produjo a las 20:23:27 GMT (3.23 p.m. hora local) el día 31 de Mayo de 1970,

frente a la costa del norte del Perú. El epicentro determinado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur en Lima, permitió determinar el siguiente epicentro corregido, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8

Los parámetros epicentrales del terremoto del Valle del Santa, Perú del 31 de Mayo de 1970.

Hora Local	:	3.23 p.m.
Latitud	:	9.18° S
Longitud	:	78.83° O
Profundidad del Foco	:	52 Kms.
Magnitud Ms	:	7.8
Magnitud Mb	:	6.6
Epicentro	:	25 Kms. al oeste del puerto de Chimbote.

La estimación fue obtenida en base a registros sísmicos de 20 estaciones sudamericanas, incluyendo 4 estaciones peruanas (Ñaña, Huancayo, Arequipa e Ica), además de un número seleccionado de estaciones de Norteamérica.

Ericksen y otros (1970) describieron que de acuerdo a las explicaciones de los testigos, el terremoto comenzó sin previos indicios, como un suave balance que finalizó en pocos segundos y fue seguido por un fuerte movimiento de una duración entre 30 a 90 segundos (el mejor cálculo parece ser de alrededor de 45 segundos). No existía un acelerógrafo en el área afectada en el momento de la sacudida principal pero varios instrumentos portátiles que fueron instalados luego, registraron algunas de las réplicas. Muchos testigos describieron los movimientos del terremoto, como un movimiento pronunciado de lado a lado, que hizo difícil caminar o correr, pero no lo suficientemente fuerte como para arrojar a la gente al suelo. En muchos lugares visitados las estructuras de adobe comenzaron a derrumbarse después de solo 15 segundos de la fuerte sacudida.

1.3.4 Intensidad

De acuerdo a Berg y Husid (1970), la intensidad del terremoto en la escala de Mercalli Modificada no es precisa y es algo subjetiva, luego el observador puede proporcionar diferentes resultados de los efectos según él. Intentando evaluar la intensidad en base a los efectos promedios en las localidades y tomando en cuenta la calidad de la construcción se determinaron las intensidades en la escala de Mercalli Modificada para las siguientes ciudades, ver Fig. 19.

Casma	VIII
Chimbote	VIII
Huaraz	VII +
Huallanca	VI
Huarmey	VII
Trujillo	VII -

Según Giesecke y Deza (1970), las intensidades originadas por el sismo fueron delimitadas en forma muy preliminar, en la Fig. 19. Esta ha sido elaborada por las observaciones llevadas a cabo en las áreas afectadas y por la evaluación de informes verbales correspondientes a lugares no visitados. Las líneas delimitan áreas dentro de las cuales hubo una determinada intensidad indicada a cada caso. En ningún lugar se sobrepasó el grado VIII de la Escala de Mercalli (escala de XII grados). Alrededor de 85 mil Km² fueron afectados por el sismo. La magnitud calculada usando amplitudes de las ondas superficiales es de 7.5 grados en la escala de Richter. Esta magnitud del desastre, que no tiene precedentes, según la vida de más de 50 mil personas. Pero en realidad nunca se sabrá la cifra con precisión.

Ericksen y otros (1971), observaron que no existe una obvia correlación entre la intensidad de los daños estructurales y los materiales de cimentación en muchas áreas donde la falla de la cimentación no ocurrió. En los pueblos se apreció que casas de adobe han colapsado, las casas siguientes de edad similar y construcción fueron moderadamente dañadas o no dañadas. La razón de esta variación no es muy clara, pero la sutil diferencia en composición y/o contenido de agua en el material de cimentación podría ser un factor importante, también la clara diferencia en construcción y la propagación de la onda sísmica pueden ser igualmente importantes.

1.3.5 Origen de la Avalancha

Ghiglino (1971) a este tipo de fenómeno lo llamó alud-aluvión, ya que la fuente que lo produce es el desprendimiento de hielo que al recorrer incorpora morrenas y materiales diversos, formando una masa bastante densa, la que por el alto contenido de hielo

se desplaza a grandes velocidades. Conforme se va licuando el hielo en su recorrido, la velocidad va disminuyendo y la densidad de la masa también decrece.

El alud-aluvión de Yungay y Ranrahirca fue motivado por el sismo del 31 de Mayo, el que por su intensidad originó el desprendimiento de grandes masas de rocas a lo largo del pico N-O del Huascarán, rocas que al desprenderse arrastraron consigo el hielo que tenían encima, así como el de la cornisa, en una extensión aproximada de 1,500 m. Esta masa de roca y hielo al caer verticalmente más de 800 m. de altura, arrastró parte del hielo de la falda del Huascarán que al salir por la pendiente rocosa incorporó en su masa todas las morrenas frontales y laterales que aún quedaban en la zona.

De acuerdo a Lornitz (1970), el andinista japonés K. Takahasi, quien se encontraba acampando frente a la cumbre norte del Huascarán (elevación 6654 m), fue testigo del comienzo de la avalancha. De acuerdo con este testigo presencial, se desprendió un borde de hielo de dimensiones 20x30x50 m. de la orilla superior de un precipicio que se encuentra a unos 700 m. al poniente de la cumbre. Esta capa de hielo cayó libremente unos 1,000 m. precipitándose por sobre el glaciar 511, iniciándose así la avalancha. Cluff (1971) lo esbozó como avalancha según las Figs. 20 y 21.

1.3.6 Recorrido de la Avalancha

De acuerdo a Ghiglini (1971), parte del alud siguió el mismo recorrido del alud del 10 de Enero de 1962 y el resto continuó hasta la quebrada de Encayoc, incorporando a su paso los materiales depositados en épocas antiguas en las terrazas anteriores a los ventisqueros.

Por esta quebrada siguió su recorrido en línea recta hacia Huaracanca, que está al pie del cerro Aira. Debido a la velocidad y a la gran masa del alud, este cerro que tiene una altura de 200 m., fue rebasado en una extensión de 600 m., cayendo la masa alud-aluviónica sobre el caserío de Huashao, donde arrastró casas y materiales, erosionando profundamente las tierras de cultivo y luego continuó su recorrido devastador sobre Yungay, ciudad con más de 18,000 habitantes, la cual quedó totalmente sepultada por el alud-aluvión. Solo una pequeña parte de este alud llegó al río Santa y el resto se quedó en la planicie de Yungay.

Lliboutry (1970) anotó que de las palmeras de 12 a 13 m. de altura ubicadas en la plaza de Armas de Yungay, ahora sólo queda de 8 a 10 m. El espesor del aluvión es pues allí de 3 a 4 m. Siendo el área cubierta de unos 16 Km², se estima al volumen de sedimentos depositado en unos 50 millones de m³.

Según Ghiglini (1971), el alud que no pasó el cerro Aira, continuó por la quebrada de Ranrahirca como una bola gigantesca, la que al ingresar a la zona Ranrahirca se abrió en abanico, destruyendo a su paso el resto del caserío Huarascucho y de Ranrahirca,

que quedaron como testigos del aluvión de 1962, y luego llegó al río Santa cubriendo una extensión de 3 Km. de ancho.

Por la velocidad con que bajó este alud-aluvión, al llegar al río Santa rebasó la margen izquierda hasta llegar al pueblo de Matacoto que está a más de 50 m. sobre el nivel del río, destruyendo parte de la población.

La punta sur del alud cerró el cauce del río Santa, represándolo momentáneamente, por lo que el agua al almacenarse llegó hasta el pie de Mancos. Dado que el gasto del río Santa en ese momento era de aproximadamente $70 \text{ m}^3/\text{hora}$, no se cree que este represamiento haya durado más de media hora. El resto del aluvión (desde este punto se considera únicamente como aluvión) siguió su recorrido por el río Santa destruyendo toda la campiña de Caraz, inclusive el aeropuerto de San Miguel, y dejando a su paso sobre las terrazas los escombros rocosos que llevaba en suspensión.

1.3.7 El Sismo y la Avalancha

Casaverde (1970) reportó que llegó a Yungay procedente de Huaraz el 31 de Mayo a las 14:30. Día Domingo, la Plaza de Armas estaba tranquila, sin mucha gente. Aparentemente la mayoría de sus habitantes se encontraban descansando o esperando la transmisión radial del partido de fútbol entre Rusia y México en el Campeonato Mundial de Mexico '70. Estuvo acompañado de G. Patzelt, pasearon algunos minutos en la Plaza y el Mercado que estaba por cerrar sus puertas; era cerca de las 15:10 hrs. cuando bajaron al cementerio. Patzelt tomó algunas fotografías del cementerio y Casaverde tomó 2 fotografías del Huascarán parcialmente nublado, en cuyo visor se pudo apreciar con claridad grietas horizontales en la parte baja y visible del Huascarán Norte. Comentó extrañamente con Patzelt que el Huascarán constituía un serio peligro y que en cualquier momento se podía venir abajo. El pronóstico se cumplió a los pocos minutos, cuando retornaba hacia Huaraz. La camioneta que le servía de transporte saltaba verticalmente con tal fuerza que era difícil su control y observó desde el carro como se desplomaban las casas de adobe y un puente próximo a la carretera. Se apreció con mayor claridad la componente vertical de las ondas sísmicas siendo aparentemente más intensa que la horizontal. Se observó como se producían ligeras grietas sobre el asfalto de la carretera y simultáneamente deslizamientos de tierra de pequeña magnitud en la Cordillera Negra. En otras partes del Callejón informaron que se habían registrado deslizamientos mayores.

Abandonó el vehículo cuando el terremoto estaba terminando. Escuchó un ruido que procedía de la dirección del Huascarán y observó entre Yungay y el nevado una nube gigante de polvo, color casi arcilla. Se había producido el alud; parte del Huascarán Norte se vino abajo. Eran aproximadamente las 15:24 hrs.

En la vecindad lo único que ofrecía seguridad era el cementerio, construido sobre una colina artificial, una "Huaca" incaica de forma circular con 5 terrazas. Un Cristo de cemento blanco, de unos 6 a 8 m. de altura, se yergue imponente sobre la colina con los

brazos abiertos hacia el Huascarán. Corrió 100 m. de carretera antes de ingresar al cementerio que también sufrió daños. A la entrada atinó a voltear la vista hacia Yungay y en ese momento pudo observar claramente una ola gigante de lodo color gris claro, de unos 60 m. de alto, que bajó cubriendo todo y con ligera inclinación iba a golpear el costado izquierdo de la ciudad. Esta ola no tuvo polvo.

En la carrera sobre las escalinatas de entrada a las terrazas derruidas, logró alcanzar la segunda terraza y encontró la vía a la tercera más obstruida y con un hombre, una mujer y tres niños tratando de alcanzarlo, desvió a la derecha sobre la misma segunda terraza cuando como un golpe seco de látigo, una porción de la avalancha alcanzó el cementerio en su parte frontal, prácticamente al nivel de la segunda terraza. El lodo pasó a unos 5 m. de sus pies. Se oscureció el cielo por la gran cantidad de polvo posiblemente originado por las casas destruidas de Yungay. Volteó la mirada; Yungay con sus 20,000 habitantes había desaparecido en pocos segundos. Un silencio paradójicamente sepulcral siguió aquel ruido decreciente que indicaba que la avalancha seguía su camino bajando por el río Santa y el mayor volumen de la avalancha proseguía seguramente a menos velocidad por Ranrahirca. Habían pocas rocas, todo era lodo gris y hielo, un lodo viscoso que sobre la ladera de Yungay se quedó totalmente estático, ofreciendo un cuadro dantesco. A las 16:30 hrs. se pudo observar solamente la silueta del sol por la fuerte polvoreda que cubrió el Callejón, reduciendo intensamente la visibilidad. En el cementerio lograron salvarse 92 personas, la mayoría adolescentes, que se refugiaron allí hasta el día siguiente en la mañana. Durante la noche se sintió unas 25 réplicas de las cuales por lo menos 3, las más fuertes, estuvieron acompañadas por ligeras avalanchas por Ranrahirca indicadas por el ruido típico que producían.

De la ciudad de Yungay escaparon con vida 350 personas en su mayoría adolescentes y niños. Los niños habían asistido al circo Berolina instalado en las afueras de Yungay, en el campo de fútbol.

1.3.8 Avalancha de Escombros del Huascarán en el Área de Yungay y Ranrahirca.

Ericksen y otros (1970) comentaron del suceso lo siguiente: el aspecto más destructivo y geológicamente más fascinante del terremoto fue el alud de hielo y roca que cayó desde el pico norte del Nevado Huascarán. La mayor parte de la avalancha y los escombros parecen originados por un desprendimiento de rocas y hielo de aproximadamente 800 m. de ancho desde la pared oeste del pico, a una altitud entre los 5,500 m.s.n.m., ver la Fig. 21.

Nuestras observaciones acerca de la configuración del área donde se originó la avalancha, indican que la masa incluyó probablemente un volumen de hielo y roca que se estima en más de 23 millones de metros cúbicos. La cantidad de roca fue probablemente mucho más grande que la de hielo.

Conforme la avalancha se movió hacia abajo del costado del Huascarán hacia el valle de Llanganuco, adoptó un aspecto de barro altamente fluido, debido al derretimiento de su parte de hielo (como resultado de la fricción y la energía producida por la masa en rápido descenso) y agua que saturó la masa pastosa que bajó. Poco después del primer remezón del terremoto, una masa enorme de roca, hielo y barro se había desplazado 14 Km. del Huascarán hacia el río Santa. La avalancha represó el río Santa temporalmente, de modo que éste retrocedió a 2 Km. aguas arriba, llegando hasta las pendientes bajas de la Cordillera Negra.

Un área de más de 15 Km² fue destruida de inmediato. Yungay fue barrida por una lengua relativamente pequeña de barro y roca de un espesor de varios metros que rebotó en un cerro de 200 m. de altura que se erigía entre Yungay y el flanco mayor de la avalancha que siguió hacia el río Santa. Solo las puntas de algunas palmeras en la plaza de Armas y parte de la Iglesia que ahora sobresale encima del barro, marcan el lugar de esta pintoresca ciudad. La parte principal de los restos de la avalancha que fue canalizada a lo largo del valle del río Llanganuco enterró la mayor parte de Ranrahirca, como muchas otras aldeas pequeñas a lo largo de los fértiles valles del río Llanganuco y el río Santa. Un cálculo de 1,800 personas muertas en Ranrahirca y un desconocido pero muy probable número adicional de muertes ocurrieron en una extensa área cubierta por acarrees.

De acuerdo a los testigos, la avalancha de escombros fue provocada durante el terremoto. Esta se desprendió en bajada a alta velocidad con un ruido ensordecedor y estaba en todas partes acompañada o precedida por un fuerte y turbulento vendaval. Según relato de los sobrevivientes, la avalancha recorrió 16 Km. de distancia desde su origen hasta las cercanías del cementerio en Yungay, en 2 a 4 minutos, a un promedio de velocidad entre 217 y 435 Km. por hora.

Una velocidad del orden de 400 Km/hora es indicada cerca de la parte media del recorrido por las trayectorias de miles de peñones, muchos con un peso de más de 3 toneladas, algunos lanzados más de 700 m. a través del valle de Llanganuco. Esta mortal lluvia de rocas mató e hirió a mucha gente y fue extremadamente destructiva en las construcciones, vegetaciones y ganado.

La excepcional altísima velocidad y gran volumen de la avalancha le permitió pasar por encima de grandes obstáculos topográficos, incluyendo la colina entre Yungay y Llanganuco. Su impulso en el río Santa alcanzó 10 Km. desde su origen, llevándola a través del río tanto como 50 mt. verticalmente y varios cientos de metros horizontalmente hasta la orilla opuesta, donde destruyó parte de un pequeño pueblo. La velocidad de la avalancha fue debido a la combinación de la pendiente empinada (como 70 grados) en el origen del área y al gran relieve vertical (3700 m.) a lo largo de su trayectoria de 16 Km. al río Santa.

En la parte superior media de su curso la pendiente vertical es de casi 3,000 m. a un promedio de inclinación de 23 grados; en la parte baja la caída es de sólo 700 m. y un promedio de inclinación de 5 grados.

La resistencia friccional a los deslizamientos de la masa puede haber sido notablemente reducida (coeficiente de fricción 0.22) por la mezcla de nieve, hielo y particularmente por la captura de aire debajo de la masa. Cojines de aire que flotaban cerca del origen son el factor por el cual la avalancha aparentemente se movió a través de colinas de material no consolidado morrénico sin desborotarlo.

Muchos de los daños causados por esta avalancha fueron en las partes cultivadas y pobladas del curso debajo de los 2,600 m. de altitud. Aquí el esparcimiento de los escombros atravesó un área de bajo relieve en 3 ramales en un área de cerca de 9 Km². La máxima amplitud a través de esta área, cerca del río Santa, es de 4.3 Km.

Estos ramales enterraron Yungay, la mayor parte de Ranrahirca y varias pequeñas comunidades. También destruyeron 3.3 Km. de la carretera principal del valle del Santa y cerca de igual cantidad de líneas de transmisión primaria eléctrica de la planta Hidroeléctrica de Huallanca.

El espesor del depósito de escombros, como fue medido en ciertos lugares a lo largo de sus márgenes y canales de corriente cortados, variaba de pocos centímetros a 10 m., y un cálculo conservador de un término medio de 3 m. El espesor es de cerca de 5 m. en la ubicación de la plaza de Yungay, como se ha calculado comparando las alturas de las 4 palmeras que se extienden encima de la superficie de los escombros con la altura total de las palmeras del mismo lugar que fueron arrastradas por la corriente. Considerando un promedio de 3 m., el volumen de los escombros sólo en los ramales es del orden de 27 millones de m³. Un adicional de 5 a 10 millones de m³ de escombros (principalmente pedrones) fueron depositados en la parte superior de la avalancha en un área de cerca de 10 Km² y aún un mayor volumen de escombros ha sido arrastrado hacia el río Santa. Así, el volumen total del material sólido movido por la avalancha puede fácilmente ser del orden de 50 millones de m³.

El material depositado por el aluvión es principalmente barro y rocas. Cerca del término, el agua contenida en la masa fue incrementada por la fundición de hielo y nieve incorporados y por el desbordamiento de la corriente. Este particularmente se presenta como un flujo de acarreo viscoso, consistente de barro y piedra. El barro es un depósito gris que contiene en la parte cónica roca salitrosa glacial derivada de los depósitos morrénicos a lo largo de la montaña. Este es suave cuando está húmedo y muy duro con profundas rajaduras resecaadas cuando está seco.

Los escombros de la avalancha probablemente se movieron como una onda de vibración a alta velocidad que recogía y movía incluso las rocas grandes que se encontraban en su camino, mientras dejaba otras a su paso. Tal mecanismo podría ser compatible con los relatos de los testigos, como una pared de escombros tan alta como un edificio de 10 pisos con pronunciados ventarrales que acompañaron la avalancha y con la gran disparidad entre la altura de la roca recubierta de barro y otros objetos en el paso de la avalancha y con la relativa capa delgada de barro sobre el área atravesada por la avalancha. Además, una masa de agua fangosa se ha visto pasar debajo del río Santa al mar.

1.3.9 Gasto Sólido de Material

Según Ghigolino (1971), en los sedimentos dejados tanto en Yungay como en Ranrahirca (observación hecha 3 días después del aluvión) se distinguen dos aspectos:

Primero: Durante los primeros días se vió que las superficies eran más o menos uniformes y no se notaba gran acumulación de roca como se ve ahora; ésto debido a que la masa estaba aún cargada de hielo que al licuarse ha dejado aflorar todas las rocas. El porcentaje de sólidos en el sector de Ranrahirca al pasar el alud-aluvión ha sido del orden del 75%, motivo por el que la sedimentación ha sido elevada, habiéndose acumulado la cantidad de 19'000,000 m³ de materiales (roca, grava, arena y poca cantidad de tierra).

Segundo: Se ha calculado que por encima del cerro Aira han pasado aproximadamente 6 millones de m³ de material al que se ha sumado 3 millones de materiales erosionados de Huashao, dando como resultado una masa muy compacta como se ha podido apreciar en las proximidades del Estadio de Yungay y en la parte baja de la campiña, donde el alud ha terminado con alturas variables de 1 a 1.5 m. y cuyos extremos terminaban bruscamente en una superficie convexa casi vertical.

Del alud que pasó por Yungay sólo una pequeña parte llegó al río Santa por el lado sur del cementerio y una faja angosta por el lado norte. El resto del material se quedó sobre Yungay habiendo alcanzado alturas variables de 1 a 5 m. de espesor; de aquí que se ha calculado que el volumen del sedimento depositado sobre Yungay es de 7'000,000 m³.

1.3.10 Volumen y Características del Material

De acuerdo a Ghigolino (1971), calcular los volúmenes de hielo y roca desprendidos del Huascarán es muy relativo, por carecer de los planos y mediciones que se hubieran podido obtener después del alud. Sin embargo, en el plano al 25,000 del SAN (Servicio Aerofotográfico Nacional) se ha podido determinar en forma aproximada los volúmenes desprendidos del Huascarán, los que dan:

Del pico Norte del Huascarán	:	Roca	5 millones de m ³
		Hielo	9 millones de m ³
De la falda del Huascarán	:	Hielo	6 millones de m ³

Morrenas y escombros de las laderas : 30 millones de m³

Tierra del cerro de Aira y Huashao : 3 millones de m³

De aquí que el volumen total al pasar por Yungay y Ranrahirca haya sido de 53 millones de m³.

Comparando este volumen con el del alud-aluvión del 10 de Enero de 1962, se vé que la magnitud de éste último ha sido cinco veces más grande que el del anterior.

1.3.11 El Represamiento en la Quebrada de Llanganuco

Una gran cantidad de hielo procedente del glaciar 515 al Noroeste del Pico Norte del Huascarán cayó entre las dos lagunas de Llanganuco, sepultando a 15 andinistas (14 Checoslovacos y 1 Chileno) que acampaban allí.

De acuerdo a Lliboutry (1970), el glaciar se extiende entre 4,700 m. y 5,800 m. de altitud, siendo dominado por una pared de rocas de unos 700 m. Hubo derrumbe de roca y hielo desde la cumbre, pero parece ser que fue la parte baja del glaciar, que reposa sobre rocas aborregadas bien inclinadas, que se desprendió hasta los 3,480 m., es decir unos 1000 m. más abajo. El cono del alud tuvo unos 1000 m. de largo y 780 m. de ancho en su base, una superficie de 0.47 km². Las aguas represadas detrás del cono del alud hicieron crecer la laguna alta en unos 250 m³ al día.

1.3.12 Efecto Aguas Abajo de Yungay

Según Ericksen y otros (1970) el flujo de agua fangosa y escombros de rocas continuó aguas abajo del río Santa, causando extensos daños a las estructuras, rutas de transporte y redes de comunicaciones aguas abajo de Yungay. De acuerdo a las versiones de los testigos el flujo alcanzó Huallanca, a 52 kms. de Yungay a las 5 p.m. más o menos. Esta velocidad del flujo indica un promedio de velocidad de 35 km/hora.

Once kilómetros aguas abajo de Yungay el flujo de escombros rebalsó el cauce del río Santa e inundó el aeropuerto de Caraz, muchos caminos y extensas áreas de agricultura. Caraz mismo no fue dañada por el flujo Sin embargo, el río Parón que pasa a través de

Caraz al río Santa, tuvo un mayor flujo de escombros que localmente inundó sus orillas y dañó pequeñas áreas del pueblo. Entre Caraz y Cañón del Pato, la carretera fue localmente cubierta de barro donde los escombros del flujo desbordaron el cauce del río Santa. El puente alto a través del río Santa a Choquechaca fue destruido.

1.3.13 Geología del Área Afectada

Según Deza y otros (1984), en el área afectada se presentan mayormente rocas sedimentarias e ígneas intrusivas.

En la costa las rocas más antiguas están constituidas por rocas del Cretáceo Inferior conformadas por areniscas cuarzosas y lutitas carbonosas de la llamada Formación Chimú; encima de esta formación se encuentra la Formación Santa constituida por calizas y la Formación Carhuaz constituida por lutitas-areniscas; suprayaciendo a éstas se ubica la Formación Casma constituida por derrames volcánicos y piroclásticos de naturaleza andesítica y basáltica intercalados con lutitas, areniscas y algo de calizas. Suprayaciendo al Cretáceo, se encuentra el Terciario Inferior constituido por derrames piroclásticos andesíticos y riolíticos, denominados volcánicos Calipuy. Encima de estos volcánicos, en algunos lugares, se encuentra el Cuaternario constituido por depósitos aluviales y eólicos.

En el Callejón de Huaylas las formaciones rocosas se presentan desde el Jurásico Superior hasta el Cuaternario. Las rocas del Jurásico Superior identificadas como la Formación Chicama, están compuestas por lutitas pobremente intercaladas con areniscas, cuarcitas y limolitas; sobre esta formación se ubica la serie del Cretáceo Inferior descrita anteriormente, presentando además la Formación Farrat (cuarcitas, areniscas y lutitas), la Formación Chulec (calizas intercaladas con lutitas y areniscas) y la Formación Pariatambo (margas y lutitas intercaladas con calizas). En el Cretáceo Superior se ubican las formaciones Jumasha (calizas y dolomitas), Celendín (lutitas intercaladas con calizas) y la Huaylas (bancos conglomeráticos intercalados con areniscas).

Suprayaciendo el Cretáceo Superior se encuentra el volcánico Calipuy del Terciario Inferior ya descrito. Encima del Calipuy y en discordancia angular se encuentra la Formación Yungay conformada por rocas piroclásticas y tufáceas.

El período Cuaternario se caracteriza por estar constituido por depósitos consolidados de origen glacial y aluvial de edad Pleistocénica hasta el reciente. En la actualidad y por la intensa glaciación, se continúa depositando material morrénico y aluvial.

En general, las rocas ígneas intrusivas en esta área tienen una extensa distribución, conformando lo que se conoce como el batolito de la costa peruana. Este batolito está constituido por un complejo de rocas predominando el granito-granodiorita, diorita, gabro, andesitas y diabasas, estas rocas afloran extensamente a lo largo de ambas cordilleras. La edad de estos intrusivos es Cretáceo Terciario, Jaén y otros (1970).