

Sistema de Pronóstico Hidrológico de los Flancos Orientales del Volcán Pichincha y del área Metropolitana de Quito (Sishilad)

*Los estudios edafológicos del programa SISHILAD
Contribución al futuro sostenible de las laderas
orientales del Pichincha*

*Síntesis 1995-1999
Jean-Louis Janeau
I.R.D. Quito*



EMAAP-Quito :
Empresa Municipal de
Alcantarillado y Agua potable
de Quito

IRD :
Institut de Recherche
pour le Développement
(Ex ORSTOM)

INAMHI :
Instituto Nacional de Meteorología
e hidrología de Ecuador

Cooperación de otras instituciones
Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) Servicio Ecuatoriano de Sanidad Agropecuaria (SESA)
Defensa Civil

Marzo 1999

1. Introducción

El estudio edafológico aporta al Proyecto SISHILAD, informaciones de orden cuantitativo y cualitativo de los suelos de los flancos orientales del volcán Pichincha, mediante:

- ♦ Cartografía de los suelos y su utilización a partir de los datos de campo y los datos analíticos, esto permitió obtener diferentes mapas útiles para el proyecto SISHILAD y que igualmente han servido de bocetos para los mapas elaborados dentro del proyecto "Laderas del Pichincha".
- ♦ Los estudios experimentales de la hidrodinámica, de la erosión y de la influencia ejercida por la vegetación en la intercepción del agua de lluvia, permiten apreciar la interacción agua-suelo-planta y de abordar la influencia del hombre sobre el ecosistema del volcán Pichincha. Los resultados de esta investigación permiten definir los riesgos (Fig.1) y minimizar las consecuencias realizando una prevención adecuada (Fig.2).

Este estudio se realizó en estrecha colaboración con Edgar Ayabaca y Jean Louis Perrin, hidrólogos modelizadores del proyecto SISHILAD. El estudio de la erosión y de la hidrodinámica fue realizado por Carlos Gutierrez, personal del INAMHI y por tres estudiantes ecuatorianos, bajo la responsabilidad de Jean Louis Janeau.

Este documento sintetiza la metodología empleada, los resultados obtenidos sin entrar en detalle de los datos de campo (ver el catalogo de simulación de lluvia adjunto en el CD-Rom por eso) y las principales recomendaciones útiles para la gestión del medio natural de las cuencas aportantes orientales al norte del volcán Pichincha.

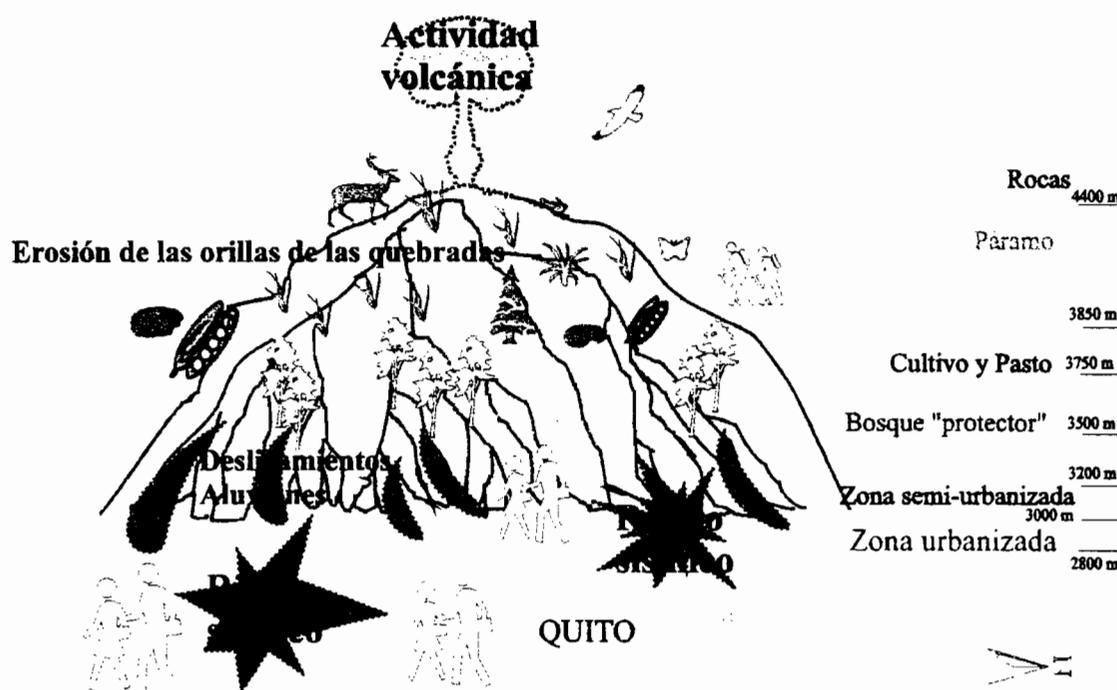


Figura 1. El volcán Pichincha, esquema de su ecosistema y riesgos potenciales.

2. Metodología :

Nuestra investigación es de tipo experimental y procede de la obtención de mediciones en el campo a fin de apreciar la hidrodinámica y la erosión del medio. Primeramente, hemos identificado los suelos (definición de la estructura y de la tefrostratificación¹) y se ha obtenido una cartografía de los suelos y sus usos. Además, se realizó un estudio de la gestión espacial de la cuenca aportante experimental.

2.1 Estudio de la hidrodinámica

Dos herramientas nos han permitido caracterizar los parámetros de la hidrodinámica de estos suelos volcánicos, en función de sus particularidades ecológicas (gradiente altitudinal, pendiente, cobertura vegetal, utilización, etc.).

2.1.1 La simulación de lluvia

La simulación de lluvia permite obtener las lluvias artificiales o las características similares de las lluvias naturales.

Se han realizado tres campañas de simulación de lluvia², en las vertientes orientales del Pichincha y una campaña sobre suelo volcánico endurecido. Las duraciones-intensidades han sido definidas a partir de datos hidrológicos del proyecto SISHILAD, para cuatro lluvias (sobre suelo seco y, 3 h, 12h y 24 horas después de la primera lluvia) sobre una misma parcela.

2.1.2 El punto cuadrado

El aparato está formado por agujas móviles espaciadas cada 5 cm sobre un soporte, que permite cuantificar los componentes de los estados de superficie, medir el micro-relieve de cada parcela y también definir los elementos que juegan un rol sobre un escurrimiento superficial potencial.

2.2 Estudio de la erosión

2.2.1 Las parcelas de mediciones en el campo

Tres parcelas han sido instaladas a lo largo de la toposecuencia de la cuenca vertiente de la quebrada Rumihurcu. Estas parcelas han sido seleccionadas en función de la utilización intensiva por el hombre a fin de estimar el impacto de éste sobre el escurrimiento, principal preocupación del proyecto SISHILAD.

Sus características generales han sido definidas en los informes Janeau et al., 1996, 1997. Recordemos rápidamente que su tamaño se definió en función del parcelario mediano de los habitantes de las zonas semi-urbanizadas y mantenidas idénticas cualquiera que sea la utilización del suelo para efectos de comparaciones.

Sobre estas parcelas se generó un seguimiento de dos años a pesar de los robos y el vandalismo, en este periodo los datos obtenidos son confiables. Estas parcelas siempre son operacionales bajo reserva de un mantenimiento mínimo y de la reinstalación de limnigrafos dentro de los reservorios colectores.

¹ tefrostratificación : disposición vertical de los diferentes depósitos volcánicos.

² material prestado por el Ministerio de Agricultura (MAG) bajo pedido de Jean-Louis Janeau y Edgar Ayabaca.

2.3 Mediciones analíticas

Gracias a un convenio firmado entre la EMAAP-Quito y el Servicio Ecuatoriano Sanitario Agronómico (SESA), y a la iniciativa de J.L. Janeau, se han obtenido³ análisis corrientes de granulometría, de mediciones de humedad y de algunos parámetros físico-químicos.

Los principales parámetros estudiados son la granulometría que permite definir la textura del suelo (sus principales componentes), las tasas de materia orgánica, el informe Carbono sobre Nitrógeno, la humedad relativa y la densidad aparente. Estas características particulares para cada tipo de suelo y de capas de cenizas volcánicas permiten apreciar la porosidad y los coeficientes de escurrimiento interno (hidrodinámica) y en menor medida la estabilidad de los suelos.

2.4 Cartografía.

2.4.1 Suelos: cortes transversales y longitudinales

En edafología se han realizado dos campañas de observación cartográfica (cavamiento de fosas, perforaciones con barreno y toma de muestras). Los cortes transversales y longitudinales han permitido definir una topocronosecuencia representativa sobre la cual se han efectuado las mediciones experimentales, Poulenard 1996. Así mismo, se ha elaborado un mapa formato A2, Janeau et al, 1997.

2.4.2 Utilización de los suelos

Con la ayuda de fotografías aéreas, de la utilización del sistema de posicionamiento satelital (GPS), de encuestas a la población de las laderas del Pichincha y numerosos reconocimientos de terreno por trayectos representativos, dos mapas formato A0 (bajo software Autocad) están disponibles dentro del proyecto SISHILAD. Es importante considerar que este documento cartográfico sirve de base de trabajo en un momento dado puesto que, claramente en la parte baja de las cuencas vertientes del Pichincha, la ocupación de los suelos está sujeta a una fuerte antropización.

3. Resultados científicos

- ◆ Desde el punto de vista científico, estos resultados (anexo 1-6) han permitido obtener una información real cualitativa y cuantitativa.
- ◆ Por otra parte, gracias a la contribución económica de la EMAAP-QUITO, el estudio permitió la formación de tres estudiantes agrónomos ecuatorianos, dos estudiantes franceses en predoctorado y la iniciación - formación de un ingeniero del INAMHI en los procedimientos del estudio de la erosión y la iniciación en las técnicas de simulación de lluvia al personal de la EMAAP-Quito.

Debemos destacar que la colaboración con los diferentes investigadores e ingenieros del proyecto SISHILAD (multidisciplinaridad), ha permitido una explotación más amplia de los resultados experimentales que manteniéndolos en el ámbito edafológico “*stricto sensu*”.

³ Los métodos “clásicos” de laboratorio fueron empleados por los estudiantes ecuatorianos bajo la dirección de químicos confirmados.

3.1 Explotación de los datos

3.1.1 La Cartografía

El mapa de suelos, de su utilización y del sector urbano de la cuenca vertiente Rumihurcu (CD-Rom, Janeau 99) ha permitido obtener un boceto de trabajo para la extensión de la cartografía al distrito metropolitano de Quito.

- ◆ Una actualización del mapa de usos de suelo se debe mantener anualmente para una gestión optimizada de la extensión de la zona peri-urbana de Quito.

3.1.2 El estudio de los suelos

La caracterización espacial y fisico-química de los suelos ha permitido comprender su génesis y su evolución y así mismo elaborar las hipótesis hidrodinámicas del funcionamiento del conjunto de la cuenca vertiente experimental (Poulenard, 1996; Janeau y al, 97).

- ◆ El descubrimiento de un horizonte de piedra pómez y de paleosuelos en el primer metro de suelo demuestra la fuerte porosidad del suelo, su rol de reservorio en la parte alta del volcán Pichincha (> 3600m de altura) y la presencia de un drenaje oblico natural.

3.1.3 Estudio de la erosión

La parcela situada en la zona del bosque protector y bajo cultivos posee Andisoles con características similares son los Udolls, Hapludolls, Vitrandic Hapludoll. La parcela al interior del Páramo bajo quemas está situada sobre Andisol, Aquands, Mélanocryands, Vitric, Humic y Thaptic.

A pesar de una fuerte pendiente en los tres sitios de mediciones comprendidas entre el 30 y 40 %, la erosión laminaria en condiciones naturales es débil. Por el contrario, en condiciones antropizadas, especialmente al momento de las quemas, el escurrimiento crece fuertemente y su corolario la erosión, igualmente (Cueva, 1998, Janeau, JL, Gutiérrez C., 1996 y 1997).

- ◆ El problema de la erosión en condiciones naturales, es el de los bordes de la orilla y las zonas de fuerte pendiente, dentro del *matorral* que posee una gran infiltración. (sobrecarga hídrica y de peso).
- ◆ La segunda preocupación prioritaria de la EMAAP-Quito debe ser la limitación de la acción antrópica en el conjunto de la cuenca vertiente.

3.1.4 Estudio de la hidrodinámica

Se elaboró un catálogo de lluvias simuladas que describa con precisión los experimentos realizados en diferentes medios estudiados. A continuación, se interpretan los principales resultados obtenidos dentro del marco de este estudio específico. Los datos se resumen en los anexos 1 hasta 6.

3.1.4.1 Zona semi-urbanizada: 3000-3300 m.s.n.m.

3.1.4.1.1 Incidencia de las características del suelo dedicado a la ocupación urbana:

- ◆ Aunque solamente el 4% de la superficie de la cuenca esté urbanizada, los escurrimientos de esa parte baja de la cuenca son fuertes. Eso se explica por la presencia en esta zona del 10% de construcciones, 30% de zonas impermeabilizadas (carreteras, vereda, ladrilleras) y 60% de jardines, barbechos o pequeños cultivos.

- ◆ La superficie del suelo está encostrada a causa del trajín de los habitantes o impermeabilizada por las construcciones.
- ◆ El suelo constituido por viejas cenizas volcánicas endurecidas (*cangahua*) y por coluviones de estructura masiva posee una débil porosidad y una débil retención de agua.
 - ◆ La asociación de estos dos elementos genera escurrimientos rápidos e importantes.
 - ◆ Hay un efecto acumulativo sobre la escorrentía cuando la lluvia alcanza “cubrir” la zona semi-urbanizada y el bosque antropizado ubicado en parte limítrofe.

3.1.4.1.2 Incidencia de las características de las lluvias

- ◆ En las parcelas desnudas, la poca infiltración ocasiona un rápido resecaamiento pero los escurrimientos por si mismos son importantes bajo la débil intensidad de la lluvia.
- ◆ Las lluvias de imbibición son débiles y el escurrimiento superficial se observa rápidamente.
- ◆ Las crecidas generadas en poca superficie de esta zona (4% pero en constante evolución) son obtenidas con poca lluvia cualquiera que sea la fecha dentro de la estación lluviosa.

3.1.4.2 Zona de bosque de eucalipto: alturas variables

La especie que domina es el eucalipto con muy pocas coníferas, esta zona ocupa alrededor del 6% de la superficie total de la cuenca, jugando un rol preponderante como regulador de la migración poniendo límite a la altura de la urbanización.

- ◆ Incidencia de las características del suelo y su utilización dedicada a la actividad silvícola:
- ◆ Los suelos tienen características variables puesto que, el gradiente altitudinal del bosque de eucalipto se ubica entre los 3100 y 3500 m.s.n.m., con tendencia a presentar estructuras masivas. Si el desarrollo de los eucaliptos no es interrumpido por la tala indiscriminada, estos neutralizan el impacto las gotas de lluvia y junto con la fauna microbiana de la superficie permite una gran infiltración a pesar de la presencia de lluvias de fuerte intensidad y duración (de 20 a 120mm/h, total de 90mm). Sin embargo, si el eucalipto es destruido totalmente (tala indiscriminada y quemas), esto permite escurrimientos fuertes, un importante transporte de sólidos y eventualmente una salida masiva de monolitos del suelo.
- ◆ Otro problema ligado a este bosque monoespecífico es que por la alta densidad de siembra y por la producción de ciertas sustancias alelopáticas, el eucalipto impide el desarrollo de otras especies vegetales.
 - ◆ Dentro del marco de protección de las cuencas, es preferible proceder a la implantación de varias especies que permitirán limitar el interés de la tala por parte de los habitantes del lugar, siempre jugando el mismo rol protector.

3.1.4.3 Zona de cultivos: 3500 - 3750 m.s.n.m.

Los cultivos tradicionales ocupan el 12% de la cuenca vertiente, deben mantenerse pero no aumentarse en la superficie.

Los estudios edafológicos del proyecto SISHILAD. Contribución al futuro sostenible de las laderas orientales del volcán Pichincha. Marzo de 1999.

- ◆ La simulación de lluvia puso en evidencia una gran infiltración y una débil erosión. Sin embargo debe existir supervisión para impedir todo desarrollo de cultivos en zonas de *matorral* y de pendiente pronunciada.

◆

3.1.4.4 Zona de pastos o prados: 3750 - 3850 m.s.n.m.

Los andisoles de estas zonas representan el 7% de la cuenca, tienden a la compactación debido al paso y repaso de los bovinos, principal ganadería de esta zona. Haciendo un estudio complementario, se debería limitar el número de animales por hectárea o la permanencia de estas manadas en la misma zona de pastoreo.

- ◆ La principal constante ligada a los experimentos (simulación de lluvia) y a las observaciones del terreno (cartografía) es el crecimiento del escurrimiento en la zona de pastoreo. Este escurrimiento es de tipo laminar pero puede ser jerarquizado (en forma de grifos de erosión) por el paso y repaso de los animales. Así mismo se debería llegar a determinar otro tipo de ganadería más liviano como por ejemplo la camélida.

3.1.4.5 Zona de Matorral y de fuertes pendientes: alturas variables

Mediante el estudio de fotos aéreas tomadas en diferentes fechas, se ha observado una degradación sistemática del *matorral*, para aprovecharlo como zona de cultivo o zona de ganadería. Se debería prohibir la alteración de los matorrales en esas zonas que ocupan actualmente el 28% de la cuenca vertiente.

- ◆ La simulación de lluvia ha demostrado la gran infiltración existente en estas zonas. La sobrecarga hídrica de estas zonas a suelo poco profundo engendra deslizamientos de terreno. Es una unidad cartográfica para los topes de equilibrio natural inestable, especialmente en período lluvioso.

3.1.4.6 El Páramo⁴ : 3750-4400 m.s.n.m.

Esta unidad cartográfica que ocupa el 40 % de la cuenca es el reservorio hídrico de las cuencas vertientes del Pichincha. Esta degradación masiva debido al fuego que se presenta en la estación seca es un riesgo mayor frente a los recursos que provee el volcán Pichincha. Además el aumento de los escurrimientos ligados a la disminución de la cubierta vegetal podría engendrar crecidas de fuertes intensidades dentro de las *quebradas*.

- ◆ La simulación de lluvia ha demostrado una multiplicación por ocho los escurrimientos sobre la parcela de páramo quemado y por cinco en caso de un páramo arado sin precaución.

3.1.5 Zonas particulares

Se trata de zonas de poco utilizadas (3% alrededor de la cuenca) pero juega un rol importante ya sea por su contribución al Riesgo o a la Hidrodinámica.

- ◆ Las zonas de rocas basálticas dominantes, situadas mayoritariamente en la parte alta de la cuenca o en zonas de pendientes muy pronunciadas, están sometidas a una erosión natural cuyo resultado es el desprendimiento, y pueden aportar elementos destructores a los flujos de lodo.

⁴ Páramo : prado de las alturas

- ◆ Las zonas de saturación localizadas al interior del páramo parece que juegan un rol mayor para el recurso hídrico (reservorio ?) especialmente en periodo de estiaje.

3.1.6 Base de datos edafológicos – CD-ROM.

Todos los trabajos realizados por los miembros del área de edafología están compilados bajo forma de un CD-ROM.

Para los ingenieros de la EMAAP-Q, se encuentra el catálogo de la simulación de lluvia que resume los experimentos, los datos originales de campo, los diferentes mapas y una bibliografía sobre los suelos andinos. También se puede consultar este documento más conciso que permite conocer los principales resultados y las recomendaciones desde el punto de vista edafológico.

Este medio informático permite un rápido acceso a la información. Es un banco de datos de fácil utilización que puede ser incluido dentro del sistema de información geográfica (S.I.G.) de la EMAAP-Quito

4. Recomendaciones

Con estas mediciones, Fig. 2 se trata de proteger el medio cuya erosión natural es activa en gran escala, en el conjunto de este macizo volcánico joven en la escala geológica. Si dentro de las cuencas vertientes comprendidas entre la *quebrada Miraflores Sur* al sur de la *quebrada El Rancho* al norte, se mantiene un tope de equilibrio natural del ecosistema, las zonas periféricas hacia abajo serán las menos afectadas por las consecuencias de los eventos hidrometeorológicos mayores.

Sin embargo, la fuerte antropización en las laderas del Pichincha, asociada a la erosión natural, genera la necesidad de realizar obras de protección de las zonas urbanizadas, que deben resistir a los flujos de lodo, el mayor riesgo fuera de los riesgos volcánico y sísmico.

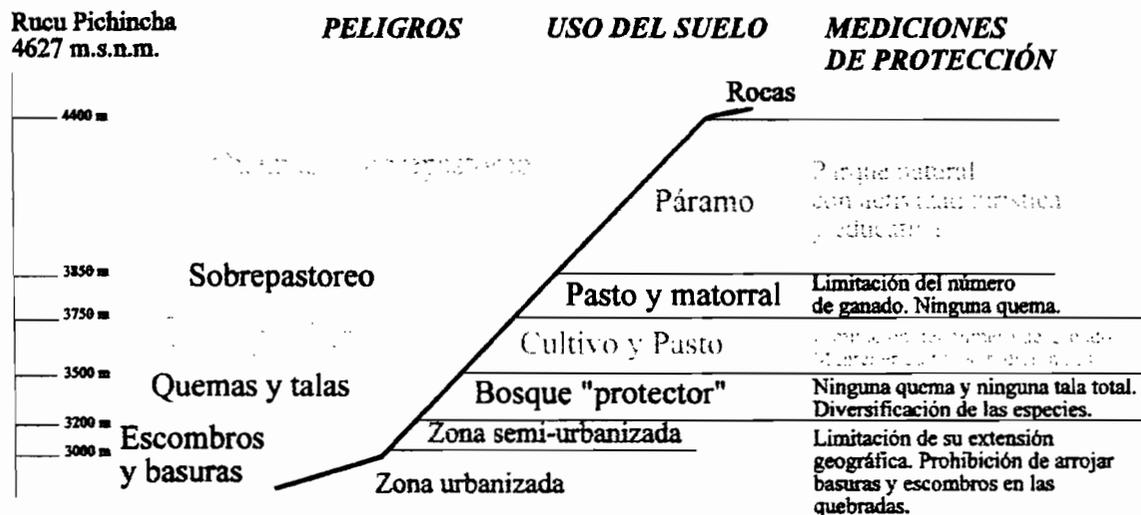


Figure 2: riesgos y medidas de protección en los flancos orientales del Pichincha.

4.1 A nivel gubernamental

Es necesario declarar al volcán Pichincha como parque natural. Esta área debe permitir actividades antrópicas tradicionales (cultivos, ganadería, silvicultura) bajo control de los guardias del parque. Los objetivos son:

- ◆ Creación del parque natural a partir de la cota 3600m de altura y de una zona de amortiguamiento hasta la cota 3300m mínimo incluyendo al bosque protector.
- ◆ Dentro de este parque, la ganadería de alpacas o de otros camélidos mucho más rentable puede ser explotada a fin de limitar la ganadería bovina hasta reemplazarla en término medio.
- ◆ Un sector educativo, turístico y hotelero debe desarrollarse bajo control de Organizaciones no Gubernamentales (O.N.G.) en estrecho contacto con los servicios de la EMAAP-Quito. Estas actividades deben tener cuidado de incluir allí a la población local.

4.2 A nivel municipal

- ◆ La recolección, el transporte y la selección de los desechos y diversos escombros deben ser cotidianos. Estas acciones evitarán el taponamiento de los escurrimientos

dentro de las *quebradas*. Estas permitirán una disminución de los vectores de enfermedades y de parásitos y darán un aspecto más agradable en el plano sicólogo a estas zonas abandonadas.

- ◆ Las brigadas de vigilancia implican que los responsables de los barrios deben actuar con el fin de evitar toda construcción peligrosa y para hacer respetar los reglamentos municipales que se refieren las *quebradas*.

4.3 A nivel comunitario

Para las acciones de mediano y largo plazo, se trata de promover la participación de la comunidad dentro de las actividades protectoras del ecosistema. La concientización de las comunidades que viven sobre las laderas del Pichincha es fundamental para su conservación.

- ◆ Las campañas de conocimiento del medio deben ser desarrolladas dentro de las escuelas primarias de los barrios periféricos de la ciudad.
- ◆ Así mismo, se debe impartir cursos de ecología a los instructores de los barrios.

Todas estas mediciones pueden conducir a realizar salidas y campamentos dedicados a la ecología, a concursos inter-escolares y a festividades a favor de la Ecología.

4.4 A nivel de la EMAAP-Quito

- ◆ La construcción de obras recomendadas por el consorcio EGESCO está en vías de construcción a cargo del proyecto "Laderas del Pichincha" éstas deberían permitir la contención y el transporte de la mayoría de los flujos hídricos. En estaciones lluviosas, en el estado actual de nuestros conocimientos, éstos tienen una tasa de sedimentación confiable en periodo de retorno inferior a 10 años.

Sin embargo, dos fenómenos deben ser supervisados rigurosamente:

- ◆ la canalización de estos flujos hasta la red de saneamiento de la ciudad de Quito, si el lecho de las quebradas tiene mayores perturbaciones (basura, escombros, árboles, desprendimiento de orillas) a fin de evitar todo riesgo de formación de presas artificiales.
- ◆ Los flujos de lodo generados en el momento de los eventos hidrometeorológicos mayores (la Gasca 1976, La Comunidad, 97, 98) son peligrosos. A la vista de las condiciones geomorfológicas y del medio en general, parece difícil construir obras capaces de resistir los poderosos impactos de estos flujos de fuerte carga sólida y elevada velocidad.

Es necesario mantenerse vigilantes frente a los rápidos cambios urbanísticos de la zona de base de las cuencas vertientes y de proteger las zonas de pendiente pronunciada de las quebradas.

- ◆ La caracterización de los sitios de erosión de las orillas, los taludes y los movimientos de masa de las vertientes es fundamental para limitar la aparición de flujos de lodo. Es fundamental tener un estudio geotécnico y un seguimiento cartográfico por medio de video-aéreo, a paso de tiempo variable, esto permitirá apreciar la evolución de estos fenómenos y minimizarlos.
- ◆ La colocación de una red de mediciones automatizada, pluviográfica y limnigráfica, a largo plazo permitirá espacializar los eventos y el correspondiente impacto en las zonas definidas como sensibles según un estudio geotécnico del medio (ref. párrafo anteriormente mencionado).

5. Perspectivas para una investigación futura de los flancos orientales del volcán Pichincha

Es la escala espacial del estudio (a corto y mediano plazo) que determina en un primer tiempo la selección de las orientaciones de investigación del programa.

Sería interesante estudiar la erosión de las orillas, ligada al sobrepastoreo y a las quemas (dos prácticas asociadas frecuentemente) y mantener un seguimiento de las parcelas existentes.

- ◆ Debe realizarse un estudio de la erosión de las orillas de cada *quebrada* con el fin de limitar desprendimientos y deslizamientos de terreno que pudiesen crear zonas de acumulación de agua o de lodo, o que podrían generar flujos de lodo, aguas arriba de las zonas urbanas. Este estudio es a la vez cartográfico (localización de las zonas potenciales inestables) y analítico (conocimientos de las características de deslizamientos).
- ◆ Pulir las mediciones de erosión a mediano plazo y completar un estudio de sobrepastoreo.

Las mediciones de erosión obtenidas deben ser válidas durante largo plazo (ideal = 10 años). Estas permitirían mediciones comparativas con otros sectores a nivel regional, nacional, inclusive andino.

El sobrepastoreo es un problema agudo, tanto por la destrucción de la vegetación nativa como por la contribución al aumento del escurrimiento en la zona alta del volcán Pichincha por compactación del suelo y reducción de la cubierta vegetal. Debería realizarse un estudio ecopastoralista, medición de la biomasa en función del tipo de ganadería, medición de permeabilidad del suelo y obtención de parámetros socio-económicos.

- ◆ Un detallado estudio de las zonas de saturación localizadas dentro del Páramo permitirá conocer el tamaño y el rol de estos reservorios en el transcurso del año. Continuamente las mediciones hidrodinámica y tensiométrica son necesarias para este tipo de estudio.
- ◆ Cartografía extensiva por medio de tomas de vídeo aéreo sobre la zona metropolitana de Quito.

Esta técnica permitiría ganar tiempo y dinero frente a las técnicas clásicas como la foto aérea o la imagen satelital. Además, si el usuario posee el equipo completo para realizar este trabajo, es totalmente independiente de todas las estructuras logísticas pesadas y complejas. La flexibilidad del sistema, si se tiene puntos georeferenciales del suelo, permite obtener estadísticas seleccionadas y variables de ocupación del suelo con el paso del tiempo, así como una rápida cartografía de zonas específicas.

6. Documentos, participación en las manifestaciones científicas y técnicas, Formación.

6.1 Documentos técnicos y científicos

Los informes por etapas han permitido conocer el estado de avance del proyecto. Además estos documentos definen las orientaciones necesarias en función de los resultados obtenidos para el proyecto y para la gestión y la preservación del medio estudiado.

- ◆ Janeau, JL, Gutiérrez C., 04/1996. Proyecto SISHILAD, área de edafología. Informe de actividades del 1 de octubre de 1995 al 15 de marzo de 1996. 40p., 7 tab., 7 fig., 2 mapas, 2 plan.fotos.
- ◆ Janeau, JL, Gutiérrez C., 05/1997. Proyecto SISHILAD, área de edafología. Primeros resultados e informe de actividades del 15 de marzo de 1996 al 15 de mayo de 1997. 22p., 1 mapa A0, 1 plan.fotos.

Varios artículos científicos han sido publicados y otros están por aparecer a finales del año 98 y en el año 99 con el fin de valorar el importante trabajo de los investigadores del Proyecto SISHILAD y permitir una difusión regional o internacional con el fin de establecer comparaciones y difundir el conocimiento.

- ◆ Leroux Y., Janeau J.L. 1997. *Influencia de las costras de superficie sobre la hidrodinámica*. III séminaire international des sols indurés: Quito, Equateur, décembre 96. Publication dans "*Suelos Volcánicos Endurecidos*", Collection Orstom Quito.
- ◆ Leroux Y., Podwojewski P., Janeau J.L.. Caractérisation hydrodynamique de parcelles réhabilitées d'un sol volcanique induré d'Equateur (*Cangahuas*), influence des traitements agricoles sur la stabilité des structures.
- ◆ Poulenard J., Collinet J., Janeau J.L., Herbillon A.. Effects of burning and tilling on hydrodynamic properties of volcanic ash soil in Ecuadorian Paramo.
- ◆ Janeau J.L., Perrin J.L., Bouvier C.. Hydrodynamic characteristics of one representative toposecuencis in the Ecuador higlands.
- ◆ Janeau J.L.. Water funnelling by the means species of flora Ecuador páramo.

6.2 Difusión

- ◆ Un tríptico de presentación del proyecto SISHILAD que reagrupa los temas de las diferentes investigaciones y metodologías, se distribuyó a inicios del año 96 a numerosos visitantes así como también a instituciones nacionales e internacionales.
- ◆ Un artículo aparecido en la revista *Desastres* de la Oficina Panamericana de la Salud (O.P.S.) permitió hacer conocer el programa de investigación y obtener las informaciones bibliográficas sobre estudios de estudios y preocupaciones similares.
- ◆ Dos artículos del periódico *HOY*, difundieron una información, algo distorsionada con fines periodísticos sobre los riesgos potenciales del ecosistema "Pichincha".
- ◆ Numerosas visitas de representantes de la EMAAP-Quito y de otros organismos nacionales e internacionales han contribuido a la dinámica del proyecto SISHILAD.

- ◆ La elaboración de pósters de difusión permitió presentar las técnicas y los resultados del proyecto SISHILAD a un gran público.
- ◆ Una conferencia en el *Café Libro* de la ciudad de Quito demostró el interés que tienen los quiteños por conocer los problemas medioambientales ligados a la presencia del volcán Pichincha.

6.3 Participación en evento técnico y científico

- ◆ La participación de Edgar Ayabaca y de Jean-Louis Janeau en un simulacro de catástrofe ligada a un evento hidrometeorológico excepcional permitió evaluar las posibilidades y las fallas potenciales del municipio de Quito y uno de sus organismos la EMAAP-Quito
- ◆ La participación de Jean-Louis Janeau y de Carlos Gutiérrez en el Congreso Nacional de las Ciencias del Suelo, en Venezuela, permitió un intercambio de informaciones sobre la investigación en edafología dentro del campo de la hidrodinámica y de la erosión en el medio andino.
- ◆ La presentación de un póster en el III seminario internacional en 1996, “Sols Volcániques indurés” à Quito, fue la oportunidad para presentar el resultado de los estudios realizados sobre suelos endurecidos tipo “*cangahua*”, encontrados en la parte baja de la vertiente experimental de la cuenca Rumihurcu.
- ◆ El seminario Taller, INIAP 98, dio la oportunidad de destacar la preocupación de la EMAAP-Quito frente a las perturbaciones de orden natural y antrópico que soporta el volcán Pichincha.
- ◆ Una conferencia en el edificio de la Defensa Civil del Ecuador permitió a los diferentes participantes, tener una idea precisa de la preocupación de la EMAAP-Quito frente a los riesgos potenciales hidro-edafológicos de los flancos orientales de la ciudad de Quito.

6.4 Formación

La ORSTOM está consciente de que la formación personal especialmente a nivel universitario no es una prioridad en sí de la EMAAP-Quito. Sin embargo al final del proyecto:

- ◆ Tres estudiantes ecuatorianos a nivel de ingenieros agrónomos (Universidad Central del Ecuador), gracias a los recursos becarios de la EMAAP-Quito, pudieron iniciarse en las metodologías del campo edafológico y pudieron obtener datos de terreno necesarios para los objetivos del proyecto SISHILAD.
- ◆ Viveros P., 1997. Estudio de la hidrodinámica en suelos representativos de una toposecuencia de la cuenca de Rumihurcu (volcán Pichincha) bajo simulación de lluvia.
- ◆ Cisneros F., 1997. Influencia de la vegetación sobre la hidrodinámica de los suelos en una toposecuencia representativa de la cuenca Rumihurcu.
- ◆ Cueva C., 1998. Estudios de la erosión de algunos suelos representativos en una toposecuencia de la cuenca de Rumihurcu (volcán Pichincha).

El ingeniero Pablo Viveros luego de esta formación fue solicitado para trabajar dentro del área de edafología y de esta manera contribuyó a la obtención de datos hídricos y cartográficos de SISHILAD, su tesis de ingeniero arriba citada y el trabajo de Viveros

P., Poulenard J. y Gallegos D., 1998 denominado "Cartografía de los suelos y de su uso de la cuenca *La Comunidad*".

- ◆ Las investigaciones realizadas en el área de edafología, sirvieron como referencia para la tesis de dos estudiantes franceses de 3er ciclo (1 DESS, 1 DEA más Doctorado). Los informes de estos jóvenes investigadores han contribuido al crecimiento de los conocimientos hidro-edafológicos de los suelos volcánicos propios de la periferia de la ciudad de Quito.
 - Poulenard, J. 1996. Caractérisation et classification de sols dérivés de cendres volcániques récentes, volcán Pichincha en Equateur.
 - Leroux Y., 1996. Caractérisation hidrodinámica de sols volcániques indurés (*cangahuas*), cultivés en Equateur

Finalmente, dos trabajadores de la EMAAP-Quito, Shubert Rosero e Iván Reyes, se han iniciado en las técnicas de simulación de lluvia en el momento de las campañas de mediciones en el terreno. De esta manera, si la EMAAP-Quito, llega a ser custodio de este material, ellos podrían asegurar la obtención de datos hidrodinámicos del terreno, confiables y repetitivos.

Los estudios edafológicos del proyecto SISHILAD. Contribución al futuro sostenible de las laderas orientales del volcán Pichincha. Marzo de 1999.

Anexo 1: tabla recapitulativa de los resultados de simulación de lluvia con relación a la escorrentía de las áreas naturales.

Unidad Cartográfica	Parcela	Pendiente (%)	Lluvia total (mm)	KRx estado seco (%)	KRx estado humedo (%)	KRx (%)	Ksat (mm/h)		Rx max (mm/h)	
							Seco - Humedo		Seco - Humedo	
Páramo 3960 m.s.n.m.										
vertiente	Parap27	39.2	114.7			73.6	20		23.7	
"	Parap70	39.2	297.5			27.4	20		28.8	
"	P5	42.4	93.5	18.6	24.1		22	18	25.9	41
"	P9	30.6	94.3	27.6	49.3		32.5	24.5	51	67.2
"	P10	28.4	94.1	68.7	87.2		21	10	108	122.4
área plana	Parast27	7.7	114.7			5.9	18.4		7.2	
"	Parasr70	4.4	299.6			6.3	18.4		7.2	
"	Parsat 1	9.3	94.7	67.8	83.8		22	13	108	115.2
"	Parsat 7	9.2	94.4	26.7	39.9		28.5	25	52.6	69.5
"	Parsat 8	13.6	94.1	73.7	84.8		25	16	111.6	129.6
Pastos 3850 m.s.n.m.										
natural	Pasp2	29.8	94.7	43.8	74.4		29.5	14	82.8	104.4
"	Pasp3	30.6	94.8	2.7	14.1		42	30	11.5	31
"	Pasp5	30.7	94.9	16.8	29.2		32.5	24.5	33.8	49.7
Matorral 3800 m.s.n.m.										
natural	Mata 11	43	94.3	4.6	31.8		29	22	23.8	75.6
"	Mata 21	40	94.3	15.8	57.9		24	18	45	111.6
"	Mata 31	37	94.3	3.1	27.4		35	23	6.8	72
Bosque 3250 m.s.n.m.										
desnudo	Bqsd227	58.7	17.5			72.2	5		19	
"	Bqsd170	55.3	30.5			61.3	5		48.2	
"	BosqD1	36.9	94.4	77.1	79.5		16.5	4.4	104.4	104.4
"	BosqD2	40.6	93.7	77.1	85		11.8	9.9	108	108
"	BosqD3	39.7	93.5	70.2	88.8		25.1	10.7	118.8	118.8
vegetación	Bqcv227	57.7	114.7			7.4	25		1.9	
"	Bqcv170	47.6	64.6			25.4	25		38.8	
"	Bosq1	56.2	93.7	73.7	88.1		15	7.5	108	115.2
"	Bosq2	45.9	94.1	61	76.8		22	17	93.6	108
"	Bosq3	50.6	93.7	69.7	88.8		18	5	108	118
Cultivos 3395 m.s.n.m.										
arado	Cult 227	39.2	114.7			6	26		1.66	
"	Cult 170	39.2	239.6			3	26		1.98	
"	Culp1	39.9	94.3	10.4	46.7		32	23.5	22.3	68.4
"	Culp2	33.7	94.3	23.9	44		30	27.5	46.8	77
"	Culp3	40.8	94.3	12	38.6		38	25.5	33.1	67.7
vegetación	CulpV4	34.7	94.3	3.8	4.8		35.5	35	7.9	10.8
"	CulpV5	33.5	94.1	17.2	24.1		31	29	32.4	48.2

Los estudios edafológicos del proyecto SISHILAD. Contribución al futuro sostenible de las laderas orientales del volcán Pichincha. Marzo de 1999.

Anexo 2: tabla recapitulativa de los resultados de simulación de lluvia con relación a la escorrentía en la zona semi-urbanizada.

Unidad Cartográfica	Altura Parcela	Pendiente (%)	Lluvia total (mm)	KRx estado seco (%)	KRx estado humedo (%)	KRx (%)	Ksat (mm/h) Seco - Humedo		Rx max (mm/h) Seco - Humedo	
Zona semi-urbanizada 3200 m.s.n.m.										
desnudo	Des227	22.5	40.5			11.9	5		7.6	
"	Des270	22.5	105			44.3	5		46.6	
"	Desn1	27.8	94.3	81.2	93.5		16	2	117	117
"	Desn3	20.2	94.3	61.4	89.9		17	7	106	106
"	Desn4	22.5	94.3	62.2	82.6		20	14	94	110.5
vegetación baja	Smd127	20.5	40.5			12.1	7		22.7	
"	Smd170	20.5	105			81.3	7		57.6	
"	Smd2	23.5	96.3	73.5	92.4		13	5	113.6	124.6
"	Smd3	27.7	100	95	95		3	2	129.6	129.6
"	Smd4	20.5	94.3	55.2	75.8		15	4	92.5	109.1
vegetación alta	Vegt27	26.6	40.5			1.2	25		1	
"	Vegt70	26.6	105			24.9	25		24.9	
"	Zsuvegt 1	30	94.3	11.8	15.5		27	20	21.2	32.4
"	Zsuvegt 2	30	94.3	50.1	55.7		27	19	82.8	85.8
"	Zsuvegt 3	23.1	94.3	26.4	63.3		31	19	62.3	101.9
Páramo antropizado 3960 m.s.n.m.										
testigo	PNT	29	94.3	5.7	11.4		32	27	12.3	19.2
arado	P Ara 1	23	94.3	33.9	69		34	24.5	95.4	115.2
"	P Ara 2	24	94.3	22.8	55.7		37.5	27.5	90	118.8
"	P Ara 3	27	94.3	49.9	82.8		32.5	21	108	127.8
quemado	P Que 1	29	94.3	26.5	50.1		33.5	27	55.8	88.2
"	P Que 2	20	94.3	43.6	75		32	23	55.2	109.8
"	P Que 3	29	94.3	75.6	80.7		23.5	19	109.8	109.8

Los estudios edafológicos del proyecto SISHILAD. Contribución al futuro sostenible de las laderas orientales del volcán Fichincha. Marzo de 1999.

Anexo 3: tabla recapitulativa de los resultados de simulación de lluvia en relación con los parámetros de infiltración en áreas naturales.

Unidad Cartográfica	Altura Parcela	Tiempo máximo de imbibición (mm)		Lluvia máximo de imbibición (mm)		Lamina infiltrada (%)		Lamina infiltrada (mm)	
		Seco - Húmedo	Seco - Húmedo	Seco - Húmedo	Seco - Húmedo	Seco - Húmedo	Seco - Húmedo		
Páramo 3960 m.s.n.m.									
vertiente	Parap27	27		12.1		26.4		30.2	
"	Parap70	31		36.1		73		217.1	
"	P5	44	39	23.7	20.7	81.4	77	76.1	73.3
"	P9	46	36	26.3	17.3	72.4	50.7	68.3	47.8
"	P10	37	23	17.9	8.5	31.3	12.8	29.4	12.3
área plana	Parast27	191		86		94.1		107.9	
"	Parasr70	69		81		93.6		280.4	
"	Parsat 1	39	22	20.1	8.7	32.2	16.2	30.5	15.3
"	Parsat 7	37	31	18.7	13.1	73.3	60.7	69.2	67.4
"	Parsat 8	23	31	10	8.6	26.3	15.2	24.8	14.7
Pasto 3850 m.s.n.m.									
natural	Pasp2	30	23	12.6	9.1	56.2	25.6	53.2	24.3
"	Pasp3	76	45	68.4	25.4	97.3	87.1	92.2	82.5
"	Pasp5	45	29	25.8	12	83.1	77.8	79	73.9
Matorral 3850 m.s.n.m.									
natural	Mata 11	7	6	2.6	2.3	95.4	68.2	90	64.2
"	Mata 21	8	3	3	1.4	84.2	42.2	79.3	39.8
"	Mata 31	8	3	3	1.4	96.9	72.6	91.3	68.4
Bosque 3250 m.s.n.m.									
desnudo	Bqsd227	4		1.8		38.7		6.8	
"	Bqsd170	1		1.7		27.8		8.5	
"	BosqD1	14	1	4.9	0.4	23	20.4	21.7	19.2
"	BosqD2	14	3	4.2	0.9	23	20.9	21.5	19.6
"	BosqD3	22	8	7.6	2.3	30.3	11.2	28.6	10.5
vegetación	Bqcv227	2		0.9		92.7		106.4	
"	Bqcv170	2		2.3		74.6		48.2	
"	Bosq1	18	5	5.9	1.5	26.3	11.9	24.7	11.1
"	Bosq2	17	14	5.9	4.5	39	26	36.7	24.4
"	Bosq3	15	7	4.8	2.2	26.8	7.2	25.1	6.8
Cultivos 3395 m.s.n.m.									
arado	Cult 227	4		1.8		94		107.9	
"	Cult 170	1		1.2		97		290.6	
"	Culp1	55	29	36.9	11.4	89.6	53.2	84.5	50.2
"	Culp2	32	29	14.1	11.6	76.2	56	71.9	52.9
"	Culp3	59	16	41.5	5.6	88	61.5	83	58
vegetación	CulpV4	63	59	47.4	41.4	97.1	95.2	91.5	89.7
"	CulpV5	45	32	24.9	13.7	85.8	75.9	80.8	71.4

Los estudios edafológicos del proyecto SISHILAD. Contribución al futuro sostenible de las laderas orientales del volcán Pichincha. Marzo de 1999.

Anexo 4: tabla recapitulativa de los resultados de simulación de lluvia con relación a los parámetros de infiltración en zona semi-urbanizada y en el páramo antropizado.

Unidad Cartográfica	Altura Parcela	Tiempo máximo de imbibición (mm)		Lluvia máximo de imbibición (mm)		Lamina infiltrada (%)		Lamina infiltrada (mm)	
		Seco - Húmedo	Seco - Húmedo	Seco - Húmedo	Seco - Húmedo	Seco- Húmedo	Seco - Húmedo	Seco - Húmedo	Seco - Húmedo
Zona semi-urbanizada 3135 s.n.s.m.									
Desnudo	Des227	39		18		88.1		35.7	
"	Des270	4		4.7		55.6		58.4	
"	Desn1	4	1	1.33	0.33	18.8	6.5	17.8	6.1
"	Desn3	9	1	3	0.33	38.6	10.1	36.4	9.6
"	Desn4	7	4	2.33	1.33	37.8	17.4	35.6	16.4
Vegetación baja	Smd127	13		6.3		87.9		35.4	
"	Smd170	1		0.4		18.7		19.7	
"	Smd2	5	5	1.67	1.67	26.5	7.7	25	7.4
"	Smd3	2	2	0.67	0.67	6.6	5	6.6	5
"	Smd4	5	5	1.67	1.67	44.8	27.9	42.2	26.4
Vegetación alta	Zsuvegt27	13		6.3		98.8		40	
"	Zsuvegt70	6		8.2		75.1		78.9	
"	Zsuvegt1	4	3	1.33	1	91.1	84.6	85.9	79.7
"	Zsuvegt2	13	2	4.3	0.67	49.9	44.3	47	41.8
"	Zsuvegt3	13	5	4.3	1.67	73.6	36.7	69.4	34.6
Páramo antropizado 3960 s.n.s.m.									
Testigo	PNT	55	30	36.8	12.6	94.3	88.6	88.9	83.6
Arado	P Ara 1	54	30	35.9	12.6	61.9	32.4	58.3	30.5
"	P Ara 2	44	29	24.3	11.8	74.4	37.2	70.1	35.1
"	P Ara 3	54	30	35.9	12.6	50.1	20.4	47.2	19.2
Quemado	P Que 1	45	15	25.4	5.45	73.5	50	69.3	47.1
"	P Que 2	45	30	25.4	12.6	56.4	25.5	53.2	24
"	P Que 3	40	25	20.9	9.95	24.4	19.3	23	18.2

Anexo 5: características edafológicas y hidrodinámicas de las parcelas de simulación de lluvia en medio natural.

Parcelas	Tipos de suelo	Vegetación y Utilizaciones del suelo	Características hidrodinámicas
Páramo Vertiente 3960 m Fuerte pendiente > 40%	Andisol. Aquand. Melanocryand	Gramínea alta con vegetación inter- mata baja. Ganadería.	Hidrodinámica sub-superficial ligada a la presencia de una capa de lapilli de pómez (10-15 cm de espesor) ubicada a 40-60cm de la superficie
Páramo Area saturada 3960 m 15% de pendiente máximum	Coluviones con origen de Andisol. Aquand. Melanocryand	Gramínea baja. Ganadería.	Hidrodinámica interna ligada a la presencia de un suelo profundo de origen coluvial. Capa arenosa en alternancia con capas limo-arenosos.
Pastos 3850 m	Andisol. Cryand. Vitricryand	Gramínea baja. Ganadería.	Hidrodinámica sub-superficial ligada a la presencia de una capa de lapilli de pómez (5-10 cm de espesor) ubicada a 40-60cm de la superficie
Matorral 3300-3800 m	Andisol. vitrandic	Vegetación nativa. Ganadería y quemas para obtener más superficies con pastos.	Hidrodinámica interna ligada al espesor variable de las capas del suelo frente a la roca madre. Fuerte sobre carga hídrica ligada a una profundidad reducida por la fuerte pendiente y la proximidad de los cañones de las quebradas.
Bosque 3250 m	Mollisol. Udoll. Hapludoll	Eucalipto quemado y cortado. Superficie desnuda. Silvicultura incontrolada.	Hidrodinámica superficial ligada a la presencia de costras de superficie.
Bosque 3250 m	Mollisol. Udoll. Hapludoll	Eucalipto quemado y cortado. Superficie con vegetación baja. Silvicultura incontrolada.	Hidrodinámica interna ligada a la presencia de una cobertura vegetal baja y a una estructura areno-limonosa del suelo.
Cultivos 3395 m	Mollisol. Udoll. Hapludoll	Arado reciente. Papas. maíz. frijol y habas.	Hidrodinámica interna ligada a la presencia de una estructura de superficie gruesa y a un suelo profundo con textura areno-limonosa dominante.

Anexo 6: características edafológicas y hidrodinámicas de las parcelas de simulación de lluvia en zona semi urbanizada y en el páramo antropizado por quemas y cultivos.

Parcelas	Tipos de suelo	Vegetación y Utilizaciones del suelo	Características hidrodinámicas
Zona semi-urbanizada			
Desnudo 3135 m	Mollisol. Ustoll. Durustoll. Sub-suelo = cenizas volcánicas indurecidas (<i>Cangahua</i>)	Vereda.	Hidrodinámica superficial ligada a la presencia de costras de superficie
Vegetación baja 3135 m	Mollisol. Udoll. Hapludoll	Jardín. Vegetación baja.	Hidrodinámica interna ligada a la presencia de una vegetación baja. Una sensibilidad al escurrimiento bajo fuerte intensidad. el <i>mat</i> formado por las raíces es muy densa y compacto.
Vegetación alta 3135 m	Mollisol. Udoll. Hapludoll	Barbecho.	Hidrodinámica interna ligada a la presencia de una vegetación gramineana heterogénea. Estructura del suelo con fuertes porosidad ligada a las técnicas culturales antecedentes.
Páramo antropizado con fuerte pendiente			
Testigo	Andisol. Aquand. Melanocryand	Gramínea alta con vegetación intermata baja.	Hidrodinámica sub-superficial ligada a la presencia de una capa de lapilli de pómez (10-15 cm de espesor) ubicada a 40-60cm de la superficie
Páramo Arado	Andisol. Aquand. Melanocryand	Arado fresco de poca profundidad (10cm)	Hidrodinámica sub-superficial a superficial debido a la formación de costras de superficie.
Páramo Quemado	Andisol. Aquand. Melanocryand	Quema fuerte de la vegetación	Hidrodinámica superficial debido a la formación de costras de superficie y a la hidrofobia de la superficie generada por el fuego.

Agradecimientos

Agradezco al equipo de trabajo del área de edafología del Proyecto SISHILAD. a Carlos Gutiérrez, Jérôme Poulenard, Fanny Cisneros, Carlos Cueva y especialmente a Pablo Viveros quien fue una pieza maestra en la adquisición de los datos de campo.

Siendo la colaboración entre disciplinas el punto fuerte dentro de esta investigación. agradezco a Edgar Ayabaca por su aporte significativo para el tratamiento y la utilización de los datos de simulación de lluvias que llevaron a la elaboración de un modelo matemático basado en datos reales del medio.

Aprecio mucho la cordialidad del personal del SISHILAD. Alfredo de la Cruz. Francisco Cruz, Shubert Rosero, Luis Carrera, Ivan Reyes, nuestra secretaria traductora Lorena Cárdenas y nuestro conserje Francisco Olmedo.

Al culminar estos trabajos, reitero mi especial gratitud a los Drs. Christophe Bouvier, Jean Collinet, Claude Zebrowski y Pascal Podwojewski quienes con sus consejos y experiencia dieron un gran apoyo al equipo de edafología del Proyecto SISHILAD.

Finalmente deseo manifestar mis agradecimientos y felicitaciones al Dr. Jean-Louis Perrin por su labor como Coordinador del Orstom-Quito en el Proyecto SISHILAD y a mis colegas franceses: Benoît Fourcade, Yann Leroux, Gwénaëlle Menez, Pascale Metzger y Alexis Sierra cuya contribución fue de gran ayuda.

La cooperación de las diferentes disciplinas. hidrología. edafología y geotécnica y de las tres instituciones asociadas. el Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM). la Empresa Municipal de Alcantarillado y Agua Potable de Quito (EMAAP-QUITO) y el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) permitió desarrollar un programa de investigación con fines aplicables. pragmático y definir así las perspectivas de investigación y las recomendaciones necesarias para la protección del volcán Pichincha.

No se puede olvidar el apoyo logístico brindado por el Ministerio de Agricultura Ecuatoriano (MAG) en especial German Trujillo y Carlos Lopez, el Servicio Ecuatoriano Sanitario Agropastoral (SESA) y su responsable Ing. Edil Mendoza y la Defensa Civil Ecuatoriana a través de Magno Rivera.