

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE GANDIA

LICENCIATURA DE CIENCIAS AMBIENTALES



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



ESCUELA POLITÉCNICA
SUPERIOR DE GANDIA

**“Cuantificación del banco de semillas
en áreas de deslizamientos activados
por el terremoto de Cinchona”**

TRABAJO FINAL DE CARRERA

Autor/es:

Guillem Crespo Cepas

Director/es:

Olga Mayoral García-Berlanga

Gandia, 2011

ÍNDICE

1- Introducción.....	3
2- Antecedentes.....	4
2.1- Terremoto de Cinchona. Descripción del evento.....	4
2.2- Caracterización ambiental.....	9
2.3- La sucesión ecológica.....	12
2.3.1- Banco de semillas.....	14
2.3.2- Lluvia de semillas.....	17
2.4- Biología de las semillas.....	19
3- Objetivo.....	23
4- Justificación.....	24
5- Metodología.....	25
5.1- Introducción.....	25
5.2- Método aplicado.....	25
5.3- Áreas de estudio.....	28
5.4- Protocolo de trabajo en el campo.....	31
5.5- Protocolo de trabajo en el laboratorio.....	33
5.5.1- Subdivisión de las muestras.....	33
5.5.2- Tamizado de las muestras.....	34
5.5.3- Conteo de semillas.....	36
5.6- Protocolo de trabajo en el vivero.....	38
6- Resultados.....	41
7- Conclusiones.....	53
Anexo Fotográfico.....	56
Bibliografía.....	67



1- INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se constituye como el “Proyecto Final de Carrera” que culmina la Licenciatura en Ciencias Ambientales impartida en la Escuela Politécnica Superior de Gandia, dependiente de la “Universitat Politècnica de València”. La ejecución del PFC en el marco de las becas PROMOE que otorga dicha universidad, ha permitido que gracias al convenio firmado entre la UPV y la Universidad Nacional de Costa Rica, se realice en el seno de esta última este trabajo.

Desde esta institución se pusieron en marcha, a raíz del terremoto de Cinchona del 8 de febrero de 2009 y debido a las dimensiones, consecuencias y repercusiones del evento, una serie de estudios en distintos ámbitos llevados a cabo por sus diversas facultades.

Entendiendo el papel de la universidad dentro de la sociedad, el laboratorio de Ecología Tropical Aplicada de la Escuela de Ciencias Ambientales de la UNA, inició un estudio para en última instancia y a medio plazo, implementar una serie de medidas encaminadas a la restauración y/o rehabilitación de la vegetación en terrenos privados afectados por los deslizamientos activados por el seísmo.

Este trabajo constituye pues parte de la fase previa de diagnóstico, específicamente la dedicada al estudio de la dinámica del Banco de Semillas, a cargo de M. Sc. Albert Morera Beita, director del todo el proyecto.

De forma paralela e independiente en este punto del estudio, se llevan a cabo los estudios de fauna y paisajismo a manos de la Doctora Marilyn Romero y de M. Sc. José Pablo Carvajal. Estas tres líneas de trabajo confluirán en fases posteriores del proyecto, encaminadas a la consecución de unos objetivos globales que exceden el presente documento.



2- ANTECEDENTES

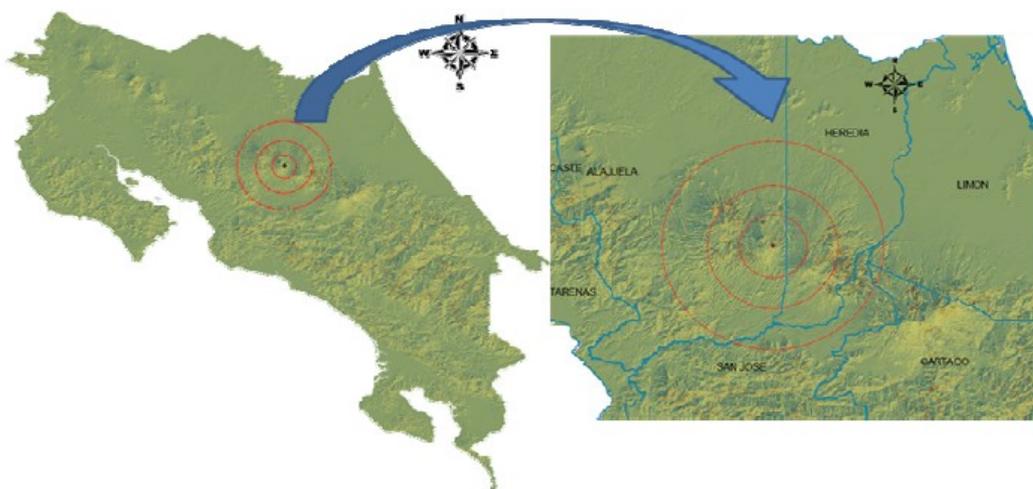
2.1- TERREMOTO DE CINCHONA. DESCRIPCIÓN DEL EVENTO

El ocho de enero de 2009 se produjo a las 13:21 un terremoto de 6'2 grados en la escala de Richter. El epicentro del seísmo principal se situó 40 km al norte de San José, en el punto que marcan las coordenadas 10° 11,69' latitud Norte y 84°10,60' longitud Oeste, un kilómetro al sur de la población de Cinchona.

La profundidad difiere según la fuente consultada. En el "Informe de situación N°17" de 21 de enero de 2009, el Centro de Operaciones de Emergencia COE-CIA, sitúa el hipocentro a una profundidad de 10 km, mientras que en el Informe de la Red Sismológica Nacional de abril del mismo año se rebaja esta distancia hasta los 4,6 km.

En consonancia con ambos datos, el temblor se caracterizó por la naturaleza cortical del mismo, debido a los numerosos fallamientos locales existentes en la zona, que produjeron daños en una extensión aproximada que asciende a 564,8 Km².

El seísmo se sintió con intensidades de entre 4-5 grados en ciudades como San José y Heredia, situadas en la vertiente sur de las montañas que delimitan el Valle Central, contabilizándose los mayores daños al norte de dicha cordillera, en la confluencia de las provincias de Heredia y Alajuela.

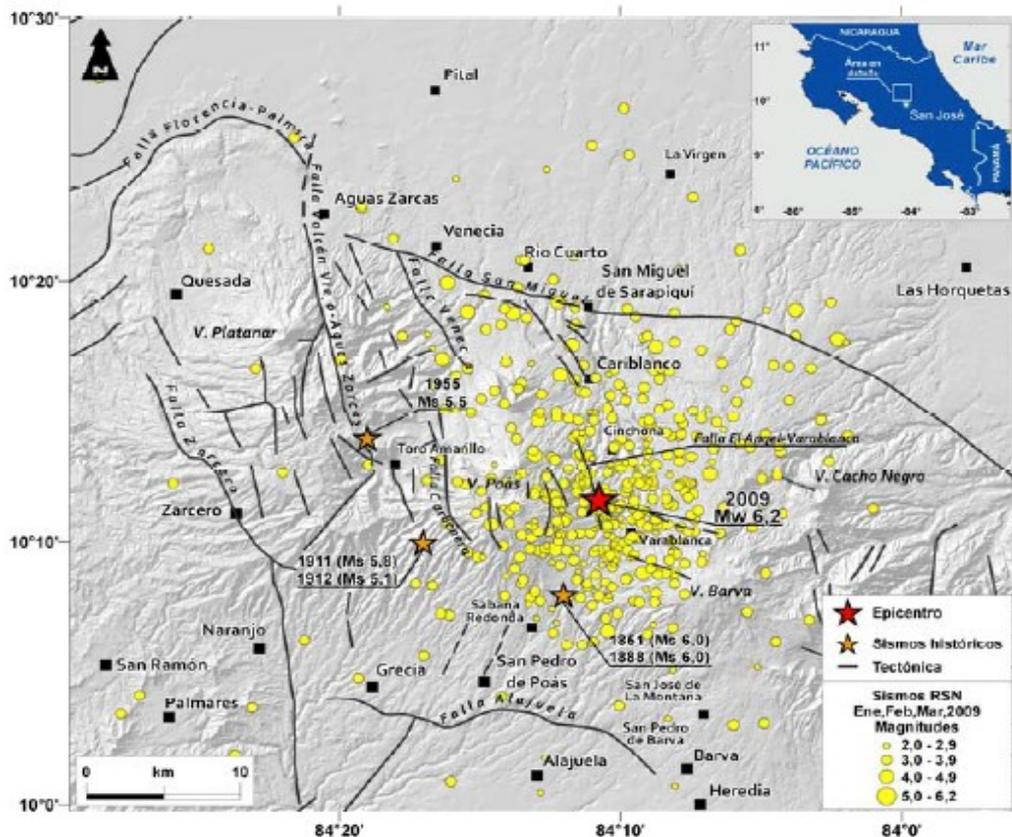


Fuente: Consultores en riesgos y desastres (ERN)



El Observatorio Vulcanológico y Sismológico Nacional (OVSICORI) sitúa el seísmo de magnitud 4,0 en la escala Richter acontecido el 7 de enero, como precursor del seísmo principal. Posterior a este último, se contabilizaron durante dos días después, más de 1200 réplicas de entre 3 y 4,5 grados. La inestabilidad generada por el terremoto del 8 de enero, generó la ocurrencia de seísmos en fallas cercanas, sucediéndose en paralelo a los numerosos temblores mencionados.

Toda esta actividad sísmica se sitúa en un área de sismicidad histórica en plena Cordillera Volcánica Central. Dicha cordillera se encuentra jalonada por un conjunto de fallas de tipo superficial, entre las que destaca la falla Ángel-Varablanca. Esta discurre a lo largo de más de 15 km en dirección NW-SE, paralela al curso medio del Río Sarapiquí, en el flanco este del Volcán Poás y al noroeste del Volcán Barva, siendo dicha falla la causante del temblor.



Fallas locales y enjambre de seísmos ocurridos los tres primeros meses de 2009. Fuente: RSN



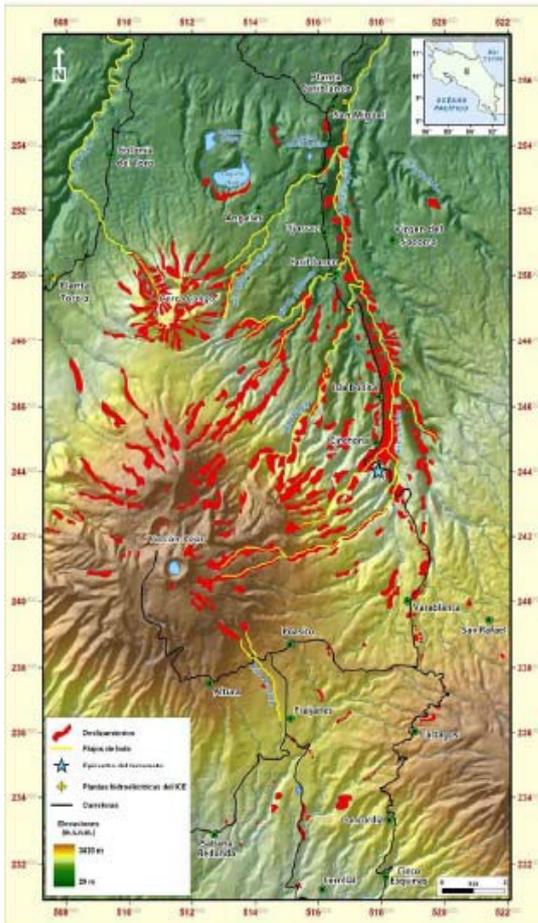
Existen registros históricos desde hace 150 años que constatan la recurrencia de temblores en esta área geográfica de Costa Rica. Igualmente el país sufre periódicamente episodios resultados de la propia dinámica de la corteza terrestre. El último gran terremoto que afectó al territorio nacional fue el ocurrido en la provincia de Limón el año 1991. Con una magnitud de 7,6 grados en la escala de Richter, causó 48 muertos en Costa Rica.

Esta periodicidad sísmica ha propiciado que el país disponga de leyes sísmicas y códigos de la edificación acordes con esta realidad desde hace décadas, reduciéndose el número total de víctimas mortales producidas por esta causa a poco más de 500 personas (Diagnóstico biofísico para Costa Rica).

Con todo esto, las amenazas naturales que históricamente más han incidido sobre el país son en primer lugar, las inundaciones, seguidas en importancia por los deslizamientos súbitos de ladera (Red Latinoamericana de Estudios Sociales en Prevención de Desastres, 2007). Estos últimos eventos están estrechamente relacionados con condiciones de fuerte precipitación y saturación de suelos, pero también y conjuntamente, con terremotos que actúan como “mecanismo de disparo”.

De esta forma el terremoto de Cinchona fue el detonante que activó los numerosos episodios de deslizamiento de ladera ocurridos. La propia naturaleza volcánica de la zona, es la que ha originado una geomorfología propicia para este tipo sucesos.

Aquí se encuentran laderas de volcanes superiores compuestas por coladas de lava, tobas de ceniza y lapilli fundamentalmente, todos ellos materiales poco consolidados propensos a la erosión rápida a causa de pendientes de categoría escarpada (50-75%). Todo ello, unido a condiciones de saturación hídrica del suelo, produjo flujos de lodo desde las zonas de aporte del tercio superior de las laderas hasta las zonas de aluvión, donde el ensanche del lecho colector sobrevino la sedimentación del material arrastrado.



Principales deslizamientos. Fuente: RSU

La mayoría de los deslizamientos se concentran en las laderas de los conos volcánicos del Poás y Cerro Congo, así como en las áreas inmediatas a los propios cursos fluviales. Cabe destacar la concentración de fenómenos de deslizamientos a lo largo de la carretera que une San Rafael de Varablanca y Carriblanco (Fotos 1 y 2), debido al aumento de la inestabilidad que supone los taludes antrópicos construidos para la apertura de dicha infraestructura vial.

La superficie afectada por sucesos de deslizamiento ascendió a 2137'88 hectáreas, unos 21 km², de las cuales 1952'12 correspondían a bosque primario, 37'2 Ha a bosque secundario y el resto a suelo no forestal, y en menor medida a cafetales

(Plan de Recuperación hacia el desarrollo, Gobierno Costa Rica). La cuenca del Río Sarapiquí fue la más afectada, con un total de 1424,88 Ha, siendo precisamente aquí dónde se emplaza el estudio que nos ocupa (Fotos 3 y 4).

Todo este material movilizado produjo un flujo de lodo constituido por agua y una elevada concentración de materiales detríticos (arenas y limos y materiales vegetales de muy diferentes dimensiones), que fue transportado a través de los ríos principales como el mencionado Sarapiquí, río Toro o río Ángel (tributario del primero), actuando estos como colectores de dicho flujo, y provocando daños a lo largo de su trayectoria.

La sedimentación mayoritaria de este material sobrevino aguas arriba de la población del Puerto Viejo de Sarapiquí, donde la altura máxima reportada del flujo de



lodo fue superior a un metro. En cambio, en las zonas de cabecera, donde los cauces transitan por laderas de volcanes superiores e inferiores se midieron alturas del flujo de lodo de 15 metros, aumentando los daños indirectos del terremoto. Parte del material inestable que se movilizó ha quedado transitoriamente inmovilizado para en sucesivos ciclos hidrológicos seguir el proceso de transporte a las zonas de aluvi3n. Se prevé que por el gran volumen de materiales transportados se altere en el medio y el largo plazo la línea de costa del Caribe. El transito de la masa lodosa supuso la total destrucción de los ecosistemas acuáticos por dónde pasó, con graves daños a la fauna y flora, siendo este hecho especialmente grave en la cuenca del Sarapiquí.

El terremoto causó pues, destrozos tanto por la sacudida sísmica como por los deslizamientos desencadenados por este. Diecinueve distritos pertenecientes a diez cantones de las provincias de Alajuela y Heredia (que aglutinan alrededor de 174000 habitantes según el censo del año 2000) sufrieron afectación directa. El área más afectada corresponde a un paisaje donde existe una diseminación de infraestructuras ubicadas en lugares claramente inapropiados debido a la conjunción de riesgo sísmico y orografía escarpada. El seísmo y sus consecuencias pusieron de manifiesto la deficiente política en el campo de la ordenación territorial. No existe en el país una ley que unifique las competencias en este campo; sus competencias se reparten en leyes de diversa índole como la Ley de Planificación Urbana (1968), Ley Forestal (1996), Ley de Uso, Manejo y Conservación del Suelo (1998), Ley de Biodiversidad (1998)... Se carece pues de un instrumento jurídico formal que además se constituya como herramienta básica para los tan de actualidad planes de Vulnerabilidad y de Gestión del Riesgo, que hayan de minimizar las consecuencias humanas y ambientales de este tipo de eventos con tiempos de recurrencia relativamente cortos.



2.2- CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL

El área con mayores afecciones causadas por el seísmo es atravesada en la dirección sur-sureste hacia las tierras bajas del norte por el río Sarapiquí. Con sus 85 km de longitud, termina vertiendo sus aguas al río San Juan, que en este punto sirve de hito geográfico que separa Costa Rica de Nicaragua. La falla Ángel-Varablanca transcurre más o menos paralela al lecho medio del curso fluvial. El Sarapiquí se convierte a unos kilómetros de su nacimiento en la laguna del volcán Poás, en el eje que ha vertebrado y condicionado el desarrollo humano en este territorio.

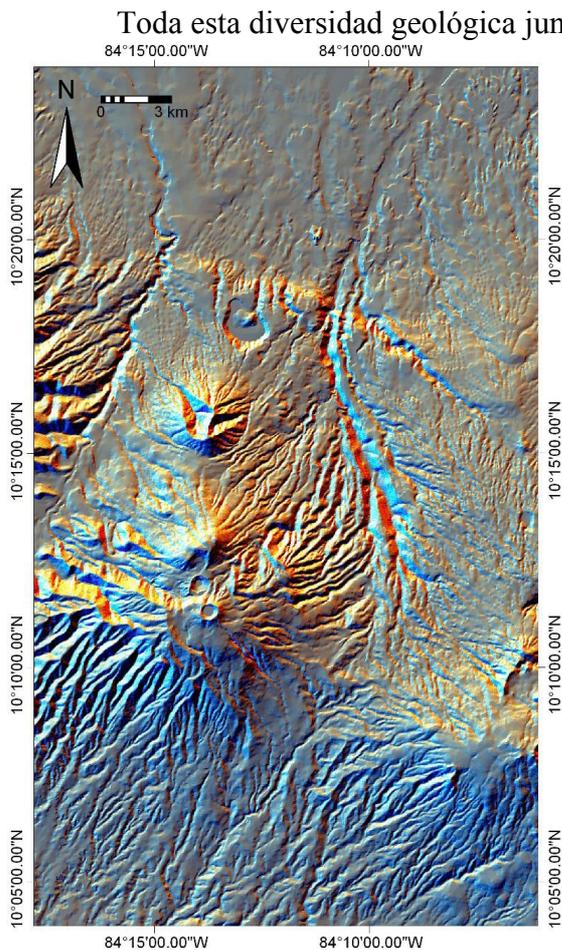
La histórica Ruta del Sarapiquí atraviesa la Cordillera Central para dar salida en sus orígenes, a los productos agrícolas de algunos de los poblados del Valle Central en dirección a Nicaragua y el Caribe, y con este último acceder a los mercados Europeos y Norteamericanos. Esta infraestructura ha sido la que ha marcado las pautas en el poblamiento y la distribución de los asentamientos humanos alrededor del volcán Poás. Este promontorio cercano al volcán Barva, situado a 15 km al sureste del Poás, imponen un paisaje de fuertes pendientes (en muchos casos superiores al 50%) y constituyen la divisorias de aguas entre el Caribe y el Pacífico.

Estos dos hitos geológicos que se imponen en el área de estudio marcan en gran medida el relieve y características de la zona. El Poás, con una altitud de 2708 m.s.n.m. permanece activo en la actualidad, mientras que el Barva con una altitud de 2906 m.s.n.m. se encuentra inactivo. Ambos son resultado del apilamiento de volcanitas en sus diferentes etapas de actividad. Según se cita en Informe de la RSN, los materiales del PaleoPoás “se compone mayoritariamente de lavas, aunque incluye gran parte de brechas, tobas y epiclastos interdigitados. La composición petrográfica de las lavas es desde andesitas basálticas con uno o dos piroxenos hasta basaltos”. Por su parte los afloramientos estratigráficos del PaleoBarva se caracterizarían principalmente por “una secuencia de lavas, así como brechas y tobas subordinadas. Las lavas mejor observadas y ampliamente distribuidas son andesitas (ácidas con alto potasio) con un 50% de



cristales sobresalientes de plagioclasas tabulares”. Se habla de edades par estos materiales comprendidas entre los 200 y 320 Ka (miles de años).

Con todo, los afloramientos geológicos más antiguos se localizan en el profundo valle del Sarapiquí, donde la erosión fluvial ha sacado a la luz materiales más antiguos pertenecientes a la primitiva Paleocordillera. Es en este punto es dónde los primitivos precursores de los citados volcanes entran en contacto.



interactuando con los factores atmosféricos han definido un paisaje geomorfológico determinado. En la siguiente imagen se visualiza muy claramente los elementos geomorfológicos del área de afección del terremoto. Situado entre el río Toro (izquierda) y el Sarapiquí (derecha) se encuentra todo el sistema y formas asociadas al volcán Poás. En la parte sur de la imagen, en primer término, el cráter del Poás (1,7 km de diámetro y 330 m de profundidad), y moviéndonos hacia el norte el Cerro Congo y la Laguna Huule. Se distinguen además los sistemas de drenaje de las diferentes cuencas hidrográficas, con la divisoria Caribe-Pacífico. En la parte superior de la imagen se aprecia la suavización del relieve en dirección a las tierras bajas del norte.

En tan sólo 50 km de distancia se salva desde las inmediaciones del Barva hasta Puerto Viejo de Sarapiquí (32 m.s.n.m), un desnivel de más de 2500 metros. La



diferencia de altitud mencionada impone unos cambios de vegetación que originan la conjunción en una extensión relativamente pequeña de hasta siete Zonas de Vida: Bosque Húmedo Tropical, Bosque Muy Húmedo Tropical, Bosque Muy Húmedo Montano Bajo, Bosque Pluvial Montano Bajo, Bosque Muy Húmedo Premontano, Bosque Pluvial Premontano y Bosque Pluvial Montano.

En respuesta a esta elevada variabilidad de espacios, se encuentran reconocidas en el área de influencia del terremoto, hasta cinco espacios naturales con diferentes figuras de protección legal. En la parte más oriental, el Parque Nacional Braulio Carrillo transcurre, en el Sector Barva, paralelo al Río Sarapiquí. En el extremo norte del Braulio Carrillo y contiguo a este, se encuentra la Zona protectora La Selva. Ambos están rodeados juntamente a los volcanes Irazú y Turrialba (fuera de la zona de influencia del estudio) por la Reserva Forestal de la Cordillera Volcánica Central. Finalmente, en la parte más occidental, y pertenecientes como los tres espacios ya mencionados a la Área de Conservación Cordillera Volcánica Central, se encuentran el Parque Nacional Volcán Poás y y la Zona Protectora río Toro.

Aún existiendo toda una red de espacios protegidos (relacionado esto con la deficiente planificación territorial ya citada en el apartado anterior), se ha detectado que la incidencia del terremoto sobre la cobertura forestal fue aumentada por ciertos factores antropogénicos. Es decir, que además de de la orografía y la naturaleza volcánica de los suelos, coexisten en este territorio ciertos usos no compatible con suelos de la clase VII (solo se permite el manejo forestal en caso de existencia de cobertura boscosa, o la regeneración de la cobertura si esta no existiese) y VIII (no tiene capacidad para sostener actividad agropecuaria o forestal, y tiene su utilidad como zonas de preservación).

Además se han reportado en estudios posteriores al terremoto a cargo de ACCVC-MINAET con el objetivo de minimizar los efectos de futuros desastres naturales, una sobreexplotación de terrenos en las tres cuencas hidrográficas que abarcan la zona afectada. Concretamente el 13'6% de los suelos de la cuenca del Sarapiquí sufren sobreuso, y de igual manera el 17'55% del la cuenca del río Toro y el 12'65% de las tierras que drenan al río Poás.



El uso del suelo predominante en la cuenca del Sarapiquí es el ganadero; áreas de potrero (prados) para pasturas de la ganadería productora de leche en las zonas de la cuenca alta (inmediaciones de Varablanca) y potreros dedicados al engorde de la ganadería en la zona media y baja. Se detecta también extracción maderera sin reposición forestal, que supone una alteración considerable de las tasas de drenaje en el corto plazo. Este hecho habría podido afectar también potencialmente al aumento en la susceptibilidad de ocurrencia de deslizamientos en las áreas que soporten este uso. Se debe tener en cuenta que los efectos de la deforestación sobre la estabilidad de laderas y taludes se manifiestan entre dos y cinco años después de la tala, cuando se produce la descomposición de la estructura radicular originaria.

La precipitación media anual se acerca a los 5000 mm anuales en determinado puntos; estos niveles de precipitación posibilitan un alto rendimiento del recurso hidroeléctrico, aprovechándose este en tasas superiores al 75% entre las tres cuencas, aunque son la cuenca del río Toro y Sarapiquí las que sustentan una mayor explotación de este recurso. En la cuenca del Poás en cambio, prevalece mayoritariamente la explotación del recurso hídrico para consumo humano. Paralelamente e igual que ocurre con las agua del Sarapiquí, existe un uso de aguas para el riego de tierras de cultivo, que entre ambas cuencas suman un caudal aproximado de 2'600 litros/segundo para este fin.

2.3- LA SUCESIÓN ECOLÓGICA

El concepto de sucesión ecológica, y muchas de sus implicaciones, son todavía hoy tema de fuerte controversia entre los propios ecólogos. Siéndose consciente de estas disquisiciones, nos es el objetivo del presente trabajo el debatir sobre ellas. Se pretende más bien mostrar las líneas generales de lo que se entiende por procesos de sucesión y sus implicaciones, así como su relevancia en las incipientes técnicas de restauración ecológica de ecosistemas.

Para ello, y acorde con el objetivo global del proyecto de valorar el potencial regenerativo de un área fuertemente perturbada (deslizamientos), se pasa a tratar escuetamente algunos elementos que marcan los procesos de sucesión: banco de



semillas del suelo y la lluvia de semillas. Se ha introducido también un apartado dedicado a la biología de las semillas, por la relevancia de algunos aspectos como la dispersión, latencia de semillas... en los procesos de sucesión. El tercer factor relevante en dichos procesos, como es la estructura del paisaje inmediato o colindante (conectividad, distancia a masas boscosas...) no ha sido tratado de forma específica, aunque su importancia aparece de manera velada en algunos de los apartados siguientes.

Las técnicas de restauración, en sus diferentes vertientes de rehabilitación y revegetación, se basan pues, como dice Lucken (1990), en la propia manipulación de estos procesos de sucesión que van a ocurrir de forma natural, con el objetivo de emular la estructura, función, diversidad y dinámica de un ecosistema nativo precedente.

La sucesión ecológica es un proceso evolutivo de las biocenosis en virtud del cual éstas son sustituidas por otras en el mismo biotopo. La sucesión es producida por cambios en el medio físico, u otros causados en el mismo por la propia comunidad o por seres vivos ajenos a ella, que traen consigo modificaciones temporales en el ambiente. En la sucesión se observa un esquema continuo, direccional y no estacional de colonización y extinción de las poblaciones de especies en una localidad, que nos permiten distinguirla de las fluctuaciones estacionales o de otro tipo que no suponen una transformación sustancial del ecosistema.

Margalef (1968) vio la sucesión como un proceso de auto-organización, que conlleva además una disminución gradual de la entropía, paralela a la paulatina disminución de la influencia del ambiente y al progresivo aumento de las interacciones bióticas. Otra contribución señalada por Margalef, fue la idea de que la cantidad de información, viva e inanimada, se incrementa durante la sucesión. La información puede ser definida como energía, biomasa o estructura, y es transferida desde estadios iniciales de la sucesión a estadios posteriores.

Las visiones más actuales de la sucesión discuten la unidireccionalidad de estos procesos, y hacen hincapié en la influencia que en la sucesión tienen las perturbaciones, los fenómenos estocásticos, y las respuestas propias de cada especie (Walker & del Moral 2003). Todas estas incertidumbres repercuten en la aparición de puntos de partida diversos y trayectorias sucesionales diferenciadas.



Pese a ello, y de forma sucinta, se establecen una serie de patrones generales comunes a los diferentes procesos de sucesión: al principio son las especies oportunistas, de fácil y rápida dispersión y multiplicación, las que colonizan el lugar; luego, lentamente, surgen otras especies más organizadas y resistentes. A medida que avanza la sucesión aumenta la diversidad, la biomasa y la producción primaria y, en cambio, disminuye la relación producción:biomasa.

2.3.1- BANCO DE SEMILLAS

El sistema suelo es la parte del ecosistema donde generalmente arriban las semillas después de los subsiguientes fenómenos de dispersión. Es en el suelo donde las semillas sobrevivirán, perecerán y/o germinarán en función de numerosos factores exógenos y endógenos. Por ello la formación del banco de semillas del suelo se inicia con la dispersión y finaliza con la germinación o muerte de las semillas (Jeffrey, 2005).

En el inter lapso de tiempo entre la dispersión y la nascencia, el banco de semillas se constituye de semillas en reposo o aletargadas, enriqueciéndose periódica (ciclos de floración) y continuamente, así como empobreciéndose con las semillas que desaparecen, mueren o germinan.

Se han dado numerosas definiciones diferentes que explican complementariamente el concepto de banco de semillas. Según Leguizamón (1983) el banco es la reserva de semillas viables presentes en la superficie o distribuidas en el suelo, constituido por las semillas producidas por plantas que crecen en el área y otras que arriban al lugar, dispersadas por diferentes mecanismos. Así, para Fenner (1995) y Harper (1977), el banco de semillas del suelo se define como una agregación de semillas no germinadas, potencialmente capaces de reemplazar plantas adultas que mueren por causas naturales y enfermedades, o que sean eliminadas a causa de disturbios naturales o antrópicos. Ferrandis, P. (1999) delimita más profusamente los límites físicos del banco de semillas, definiéndolo como el conjunto de todas las semillas viables presentes en el propio banco, bien sea en la superficie, enterradas o en



estratos asociados al mantillo. Roberts (1981), va más allá ampliando el concepto del banco de semillas en una comunidad vegetal a la reserva de semillas maduras viables, en la planta (banco de semillas aéreo), enterradas en el suelo y las presentes en los residuos vegetales (banco de semillas del suelo). Este último extremo ha sido discriminado en nuestro estudio, es decir, no se han considerado las semillas unidas a la planta madre como parte del banco de semillas, ya que han de producirse previamente los pertinentes procesos de dispersión y lluvia de semillas.

En todos los casos se coincide en el sentido que se le da al concepto semilla, usado este en sentido amplio, incluyendo a todo propágulo que no provenga de multiplicación vegetativa.

Existe una variabilidad en la composición tanto cualitativa como cuantitativa del banco de semillas en sus dos dimensiones espaciales. La variabilidad horizontal es a gran escala relativamente uniforme dentro de unidades morfológicas comparables. En cambio, a pequeña escala, la distribución de las semillas es muy irregular. Su dispersión alrededor de la planta que le dio origen, establece una distribución determinada en la superficie de suelo (Phillips, 1954). Harper (1977) añade que la agregación de las semillas que caen en un área particular depende de una variedad de factores tales como la altura, la distancia y la distribución de la fuente de semillas, de los agentes de dispersión y la capacidad de dispersión de las propias semillas.

La variabilidad vertical sigue unos patrones más comunes y generalizables. Se suelen situar los 30 cm de suelo superficial (áreas no labradas) como el perfil hasta donde se extiende mayormente la presencia de semillas. La penetración de las semillas en el suelo puede producirse mediante la percolación del agua de lluvia (aquellas de menores tamaño), a través de túneles excavados por lombrices, por huecos dejados por raíces en descomposición, ciclos de humectación-deseccación que agrietan los suelos más arcillosos favoreciéndose la penetración ...

Una tercera componente que afecta a la variabilidad global del banco de semillas, es la componente temporal. Esta deriva del hecho de que las semillas que lo constituyen, son una etapa más del ciclo vital de las plantas, estando estas sujetas a fluctuaciones temporales por etapas de floración, germinación... Además las especies



perennes no permanecen viables en el suelo tanto tiempo como las anuales (Roberts, 1970; Pettit & Froend, 2001), que pueden presentar periodos de vida extremadamente largos (Cook, 1980).

La composición del banco de semillas depende en conclusión de cinco aspectos clave: los niveles de producción de semillas de los individuos de las inmediaciones, facilidad anatómica de las semillas para su dispersión, el historial de distribución y abundancia de las especies en el área, los patrones de perturbación a nivel local y el tiempo de acumulación de semillas en el suelo. En este último aspecto cabe resaltar el hecho generalizado de que en los bancos de semillas, predominan las herbáceas anuales y perennes de comunidades sucesionales iniciales (mantienen la viabilidad por más tiempo) (Coffin y Lauenroth, 1989), frente a las semillas de árboles y arbustos de estados sucesionales más avanzados que pierden la viabilidad más rápidamente (Hughes y Fahey, 1988).

Gran parte de la bibliografía consultada tratan la temática del banco de semillas desde el campo del estudio de las malas hierbas en la agricultura, o por otro lado, siguiendo líneas de investigación referentes a procesos de degradación de ecosistemas y regeneración natural. En este contexto, la adquisición de conocimientos acerca del estado del banco de semillas, surge como pilar básico en cualquier estudio sobre los procesos de sucesión ecológica y regeneración natural.

Al respecto, Cook (1980) sostiene que la presencia de semillas en cantidad y tipo en un área específica resulta dependiente de la historia de la vegetación de cobertura de la zona y de la edad de la flora en el suelo. El banco de semillas se yergue pues, como aquellos antecedentes biológicos sobre los que se asientan los fenómenos regenerativos que hayan de sobrevenir.

En este sentido Grime (1979) y Pickett y White (1985) aseveran que la conformación del banco de semillas del suelo es en si misma una estrategia regenerativa de las plantas, y constituye según Henderson (1988) el potencial regenerativo de dichas comunidades. El banco de semillas es en conclusión un componente importante de la mencionada dinámica vegetal y numerosos investigadores han demostrado la estrecha relación entre estos y la dinámica poblacional de las especies (Milberg, 1992).



2.3.2- LLUVIA DE SEMILLAS

La entrada de semillas en un ambiente está determinada por los procesos de lluvia de semillas. Esta es a su vez, regida e influenciada por la composición florística del lugar, la estructura y calidad de la vecindad colindante (paisaje), la variación espacial y temporal de los propágulos (fenología de las especies) y el comportamiento y efectividad de los agentes dispersores. La interacción de estos elementos marcará, conjuntamente a otros aspectos mencionados en el apartado precedente, la naturaleza cuantitativa y cualitativa del banco de semillas.

Así la fenología de las especies y los ritmos en la producción de semillas se caracterizan por una elevada variabilidad temporal. Coexisten especies con una fenología reproductiva continua, otras con más de un episodio reproductivo al año (subanuales), pasando por especies con ciclos anuales hasta supranuales, experimentando estas últimas más de un año sin actividad reproductiva. La gran estacionalidad en la producción de flores y frutos en la mayoría de bosques húmedos y lluviosos del Neotrópico, reviste importancia en cuanto a las propias estrategias reproductivas de las especies en el ecosistema. Además el conocimiento de dichas fluctuaciones, resulta vital a la hora de diseñar cualquier trabajo encaminado a determinar valores empíricos sobre lluvia de semillas, o muestreos de suelo para cuantificar el banco de semillas.

Una vez completado el ciclo de maduración de las semillas, empieza la dispersión de los propágulos mediante diferentes mecanismos de transporte, todo ello previa separación de la semilla de la planta madre.

Los agentes transportadores de semillas en sus procesos de dispersión son en gran medida coincidentes con los vectores que intervienen en la polinización. La zoocoría reviste gran importancia en los bosques tropicales. El transporte por animales se lleva a cabo externamente, adheridas las semillas por su morfología especializada, a la parte exterior de los animales; también entrarían en este grupo aquellas diásporas removidas por hormigas, aves y roedores a sus respectivos lugares de almacenamiento para posterior alimentación. Y distintamente el transporte de semillas interior, en donde



los animales tras la ingesta, proceden a su deposición. La efectividad de este método varía fuertemente con los patrones de deposición de las mismas, ya sea agrupadas versus esparcidas, o cerca versus lejos.

La anemocoria está considerada el vehículo natural de transporte más primitivo y generalizado. En los bosques tropicales resulta relevante por la estructura de claros existentes. Las semillas dispersadas por el viento tienden a caer en mayores cantidades en dichos claros que en el dosel cerrado (Augspurger y Franson 1988), porque la deposición de semillas en los claros es favorecida por turbulencias de aire que se crean en los mismos (Burrows, 1975). Así se suele aseverar que la dispersión por viento es característica de especies colonizadoras (las especies heliofitas que requieren de altos valores lumínicos para su desarrollo, usan mecanismos de dispersión anemófila). Además, en las selvas tropicales, del 25-45% de la especies de los estratos superiores dispersan sus semillas por este mecanismo, bajando esta cifra a un 12% en los estratos inferiores.

La hidrocoria es típica de plantas acuáticas y ribereñas. Su mecanismo de acción es la flotación de la semilla en el agua. Esta resulta relevante con respecto a aquellas plantas del interior del bosque con semillas hidrófugas (inmójables) de pequeñas dimensiones que son retenidas por la tensión superficial, siendo de esta manera arrastradas y dispersadas por las aguas de escorrentía.

Con todo esto, la mayoría de las semillas de árboles son dispersadas en forma restringida tanto temporal como espacialmente (Haarms, 1997). Aunque las distancias máximas de dispersión varían entre especies, las semillas casi siempre se concentran alrededor del árbol parental, se propaguen estas por el viento o por animales. Casi el 75% de las semillas caen dentro de un radio de 30 m (Sinha y Davidar, 1992). Esta limitación en la capacidad dispersiva de las semillas, es una de las cuestiones por la que la estructura del paisaje va a resultar relevante en los procesos de sucesión ecológica secundarios que se inicien en claros del bosque, deslizamientos, áreas agrícolas abandonadas...



2.4- BIOLOGIA DE LAS SEMILLAS

Los procesos de floración y posterior polinización son condición sin ecuanum para que la producción de semillas acontezca, y constituirse estas en el input del banco de semillas del suelo.

Previamente las plantas han de completar una fase juvenil de crecimiento vegetativo, durante el cual se muestran insensibles a los estímulos que promueven la floración. La duración de esta etapa varía mucho de unas especies a otras y se correlaciona bastante estrechamente con la propia longevidad de las plantas.

La acción conjunta de enzimas, hormonas, inhibidores endógenos y una serie de factores nutricionales inducen el paso del individuo a la madurez, diferenciada fenotípicamente de la fase juvenil. Este cambio supone la respuesta positiva de la planta a los estímulos de floración. En la primera subetapa de la madurez (la inducción), se sintetizan y desbloquean las hormonas y enzimas requerida para la diferenciación floral de los puntos vegetativos. La segunda de las subetapas (iniciación y realización), empieza con la diferenciación de los primordios florales respecto a los meristemas, y finaliza con la floración.

La simple floración de las plantas no asegura la generación de semillas. Han de ocurrir necesariamente los procesos de polinización. La polinización se define como el proceso de transporte de polen desde las anteras de una flor hasta un estigma localizado en la misma flor, en la misma planta o en una planta diferente de la misma especie y que conduce a la fertilización del óvulo para el posterior desarrollo del fruto (Diez, M.C. Notas Ecología Forestal).

Los mecanismos de transporte de polen revisten gran relevancia en la ecología de los ecosistemas. El movimiento del polen de unas flores a otras puede efectuarse por tres agentes diferentes: animales, agua y viento.

La polinización anemófila es el mecanismo principal en latitudes templadas donde predominan las coníferas. Aunque las gramíneas también usan el viento como vector de transporte. Por la irregularidad del recurso viento en cuanto a dirección y



velocidad, estas especies adaptadas a este mecanismo de polinización han de producir altísimas cantidades de granos de polen para mantener la eficacia en la fecundación.

La polinización por el viento no es predominante en los bosques húmedos tropicales heterogéneos, donde la dispersión del polen por este medio se dificulta, ya que los individuos conespecíficos de plantas están muy separados (Janzen 1975).

La polinización por animales es el mecanismo principal en los bosques tropicales actuales, existiendo un amplio rango de insectos polinizadores entre los que se encuentran escarabajos, abejas, avispa, mariposas y varias clases de moscas. Se cita escuetamente en la bibliografía revisada, la importancia también en zonas tropicales de animales de mayores dimensiones como pájaros, murciélagos y mamíferos arborescentes.

Conjuntamente se considera que el grado de transferencia de polen entre individuos de una misma especie es muy elevado en bosques neotropicales naturalmente poco densos (Murawski, 1995).

Una vez ocurrida la polinización, se inicia el proceso de formación de las semillas angisopérmicas. La llegada de los granos de polen al estigma de la flor asegura por lo general (incompatibilidades y agamosperma al margen) la fecundación y formación del cigoto. Este se genera a partir de la fusión de los núcleos del tubo polínico con los del saco embrionario.

El desarrollo del óvulo implica una diferenciación orgánica de la semilla (formación de la semilla) y una fase de acumulación de reservas con la síntesis del almidón, lípidos, proteínas y fitina entre otros. El óvulo es el que dará lugar a la semilla, y el ovario engendrará el fruto.

El proceso de maduración es un fenómeno autónomo de naturaleza endógena. El inicio de esta etapa se sitúa en el momento en que la semilla alcanza el peso fresco máximo, coincidiendo con la fase de máxima expansión celular y niveles más altos de ácidos nucleicos. A partir de aquí empieza la desecación, paralela a una disminución notable de los niveles hormonales, que implica el cierre de aportes de agua y nutrientes a la semilla.



En el proceso global de desarrollo de la semilla se distinguen tres estados fisiológicos: la etapa ya mencionada de desarrollo del embrión donde los niveles de agua alcanzan el 80%; el proceso de acumulación de reservas en el cual los niveles de agua descienden al 50%; y finalmente la maduración y desecación donde los niveles de agua descienden nuevamente hasta el 10-20%, manteniéndose a partir de aquí constantes hasta la germinación o la senectud definitiva de la semilla. Esta pérdida paulatina de agua, induce cambios de color en la semilla y el fruto como consecuencia de la degradación de las sustancias clorofilicas.

Una vez maduras las semillas se separan de las plantas madres para ser dispersadas. Los mismos vectores de transporte que hicieron efectiva la polinización precedente, actúan también, cómo ya se ha mencionado, en la diseminación de las semillas.

De esta manera llegan las semillas al suelo (más o menos alejadas de la fuente) y pasan a constituir el banco de semillas del suelo. Desde este momento hasta la germinación (produzca o no plántulas viables), las semillas atraviesan estados de reposo o letargo muy variables en sus causas y en su prolongación en el tiempo.

El letargo es una fase de la vida de la semilla, posterior a la fase de maduración, en el cual su desarrollo se encuentra detenido por factores estructurales o fisiológicos dependientes de la propia semilla. A la fase de letargo se contraponen la de reposo, en la cual el desarrollo se encuentra detenido por la inexistencia de factores ambientales favorables a la germinación (Besnier Romero, F). Consecuentemente cabe remarcar que únicamente los factores ambientales requeridos para la germinación (sustrato húmedo, aireado y temperaturas dentro del rango de los procesos metabólicos activados en la nascencia) son los responsables de interrumpir el estado de reposo. Cualquier otro factor que induzca a la germinación, incide pues en la ruptura de las condiciones de letargo.

Las condiciones de letargo de las semillas aparecen al desprenderse de la planta madre o inmediatamente después (letargo primario), o como letargo inducido en semillas en reposo (letargo secundario).



Inciendiando sobre las estructuras de las semillas que inducen al letargo primario, se diferencia comúnmente entre el letargo extraembrional y el letargo embrional.

El primer tipo de letargo es causa de las barreras físicas, que conjuntamente con inhibidores químicos presentes en estas cubiertas generalmente duras, impiden la absorción de agua, la respiración, la expansión del embrión y el escape de inhibidores contenidos en las semillas. Estas estructuras son además filtradoras de la luz que ha de llegar al embrión.

El segundo tipo de letargo primario, el embrional, deriva de dos causas principales: por inmadurez morfológica del embrión en el momento de la separación de la semilla de la planta madre, habiendo de pasar cierto tiempo bajo ciertas condiciones para completar el desarrollo de sus estructuras; o por inhibición fisiológica del embrión.

Por otro lado, el ya mencionado letargo secundario generado en semillas en reposo como respuesta a condiciones ambientales desfavorables, tiene sus causas en factores como la oscuridad, exceso de luz blanca y rojo lejano (el fitocromo marca estas pautas), falta de oxígeno o exceso de dióxido de carbono, inhibidores químicos como ácido abscísico, cumarina, desecación de la semilla hidratada...

Aunque no se conocen bien todos estos procesos químicos, bajo determinadas condiciones la latencia desaparece. Los agentes que mejor se conocen que inducen el fin de la latencia son la lixiviación, temperatura (calor seco, frío húmedo o cambios notables en las temperaturas nocturnas y diurnas), abrasión física, soluciones de nitrato, CO₂ y la luz.



3- OBJETIVO

Análisis cuantitativo del banco de semillas del suelo en parcelas con influencia de deslizamiento y parcelas con menor grado de perturbación, ambas situadas en la cuenca media del Río Sarapiquí.

Comparar el estado del Banco de Semillas entre dos sitios de la cuenca media del Río Sarapiquí relacionados con diferente grado de uso antrópico.



4- JUSTIFICACIÓN

Los terremotos, al igual que otro tipo de catástrofes naturales, sacuden periódicamente a diferentes países en todo el mundo. Las pérdidas humanas y las afecciones a todas las infraestructuras sobre las que nos asentamos reciben las primeras atenciones. La disponibilidad limitada de fondos económicos, obliga a las instituciones a la priorización a la hora de destinar las ayudas. El reestablecimiento en el corto plazo de las condiciones de vida para las personas afectadas se convierte en indispensable. Así aquellas áreas naturales poco antropizadas donde los deslizamientos producen afecciones graves a la vegetación, no han recibido por lo general la debida atención. No existen a nivel mundial casi estudios sobre la regeneración natural en este tipo de áreas. Este estudio puede contribuir para el acervo de información sobre los procesos naturales que se inician después de un deslizamiento. Estos fenómenos forman parte del régimen de perturbaciones asociado a la mayoría de áreas montañosas del mundo (Veblen et al. 1992), y forman parte del modelaje natural del paisaje. Nos situamos necesariamente en escalas temporales de medio y largo plazo, donde el monitoreo ecológico continuado sería deseable. Esta información resultaría también muy útil para la tan manida Gestión del Riesgo para futuros sucesos, y ayudaría a minimizar los daños en la zona de influencia de la cuenca del Río Sarapiquí.

El estudio de las pautas y procesos de la regeneración ecológica de la cuenca, tendrá que servir, para como bien señala el Plan de Recuperación para el Desarrollo realizado por el Gobierno de Costa Rica en Marzo de 2009, para la futura ampliación del Parque Nacional Volcán Poás, y más importante todavía, para aumentar la funcionalidad del Río Sarapiquí como corredor biológico entre San Juan y la Selva. El aumento de la conectividad entre todas las áreas protegidas de Costa Rica debe ser una máxima que dote de coherencia y funcionalidad a toda la red nacional de espacios protegidos.



5- METODOLOGÍA

5.1- INTRODUCCIÓN

Los deslizamientos activados por el terremoto, ocasionaron el transporte de gran cantidad de suelo, y presumiblemente con ello, gran parte del banco de semillas preexistente que habría de garantizar el potencial regenerativo de la cubierta vegetal. Se produjo una pérdida de semillas (así como parte del sistema suelo que ha de garantizar la implantación de la nueva cubierta vegetal) que potencialmente ha desequilibrado el sistema de entradas y salidas, y que merma, obviamente, la capacidad regenerativa del ecosistema. Para medir el grado de perturbación y el estado presente del banco de semillas se ha propuesto el método de trabajo que explicamos a continuación.

5.2- MÉTODO APLICADO

La metodología aplicada es el resultado de la adaptación de una serie de técnicas de trabajo en el muestreo de suelos y análisis del banco de semillas a las características y particularidades de nuestro estudio. Toda la bibliografía encontrada (habiéndose convertido este hecho en un “handicap”, así como en uno de los objetivos subyacentes del proyecto) corresponde a zonas de latitudes templadas. La translocación de los procedimientos consultados a las características del Neotrópico, ha traído consigo la inexistencia de información al respecto.

Los estudios para contabilizar el banco de semillas del suelo se pueden realizar tanto respecto a unas especies de interés específicas, como para el conjunto de todas las semillas presentes en suelo. Nuestra finalidad última, la de valorar la capacidad regenerativa de las áreas de deslizamiento, requiere estipular el estado del banco de semillas en toda su extensión. Por ello nuestro análisis del banco de semillas del suelo se realizó a nivel de comunidad y no de especie. Esto ha complicado y alargado la aplicación de la metodología en ciertas fases del proceso.



La variación del número de semillas en relación a la profundidad, impone además, la necesidad de muestrear cada parcela de 1m² en sus diferentes horizontes. Se muestreó con 6 cilindros metálicos de 3, 5, 8, 10, 15 y 20 cm de profundidad respectivamente. Se obtendrán datos de número de semillas por metro cuadrado (densidad de semillas) para una profundidad determinada. El diámetro del cilindro (10'9 cm) se aumentó respecto a los diámetros propuestos en las bibliografías consultadas (4'5 cm diámetro, Ferrandis, P.) para evitar introducir error por subestimar las semillas de mayores dimensiones. Esto implicó trabajar con mayores volúmenes de muestra, alargando el proceso en todas las fases de laboratorio.

Existen tres grupos de metodologías para el análisis del banco de semillas (Thompson *et al.*, 1997): los métodos de separación física, métodos de germinación y los métodos de enterramiento, habiendo caído este último grupo en desuso.

Los métodos de separación o métodos directos consisten en la discriminación del material suelo para el conteo de la semillas propiamente dichas. Los métodos de germinación o indirectos son aquellos que contabilizan las plántulas emergidas de una muestra de suelo, resultando el conteo de estas estructuras mucho más fácil que el de las semillas y permitiendo a su vez la posterior identificación de las especies.

En el presente trabajo, se han aplicado dos metodologías para conseguir unos datos que no subestimen la muestra tomada, por las inherentes deficiencias que cada método presenta. En los textos consultados se recomienda en todo caso un proceso paralelo de ambos métodos, directos e indirecto; es decir, un proceso de germinación, donde sean fácilmente computables las semillas de menor tamaño, pero que inevitablemente subestimarán el número de semillas presentes por los fenómenos de latencia. Y por otro lado, el método directo de conteo de semillas mediante lavado/tamizado y flotación, que si bien contabiliza las semillas al margen de su estado fisiológico, pierde efectividad a partir de la fracción tamizada de 0,5 mm.

La técnica de conteo directo aplicada en este trabajo, consiste en un tamizaje mediante lavado a través de 4 cribas con diferente luz de malla. Los tamaños de luz de malla fueron 2, 1, 0,5 y 0,25 mm. La elección del tamiz inferior de 0.25 mm



se eligió desconociendo el tamaño mínimo de semillas que potencialmente pudiese haber en la muestra y basándonos en una conclusión que Ferrandis, P. plantea en uno de sus estudios: “An initial attempt to sieve soil through a 0,25mm mesh size had to be promptly abandoned, since the huge difficulty in detecting and counting the highly abundant tiny *Erica* seeds in samples made it totally time-consuming and inoperative”.

Con esta información se concluyó que si bien se usaría el tamiz de 0,25 mm para cercionarnos de que no estamos eliminando cierto número de semillas que desconocemos, a esta última muestra se le aplicaría un tratamiento de extracción de semillas por flotación, para no convertir el proceso en inviable debido a la necesidad de tiempo invertido.

Se ha desestimado el uso de dispersantes químicos en el proceso de lavado y tamizado, ya que este efecto se consigue al pasar las muestras a través de las cuatro cribas. Además con los cuatro tamices se pretende conseguir una estratificación por tamaños de las semillas presentes en el suelo. Con ello se podrán establecer categorías de semillas en función de su tamaño (y peso específico) y su potencial y/o importancia en los procesos de regeneración de la cubierta vegetal.

La técnica de flotación aplicada, consiste en la preparación de una disolución con un valor conocido de densidad para favorecer la separación de la materia orgánica (semillas incluidas) de la fracción mineral. Los trabajos revisados proponen una solución salina de sulfato magnésico y hexametáfosfato sódico con una determinada densidad. Desconociendo en nuestro caso los valores de densidad física de las semillas en las muestras, se optó por utilizar una solución con azúcar (técnica usada por Alejandro Esquivel para el análisis de nemátodos, Laboratorio de Nemátodos, UNA) hasta una densidad $1,24\text{g/cm}^3$. El estudio por tanto contabilizó por el método directo todas aquellas semillas mayores a 0,25mm y con densidades inferiores a $1,24\text{g/cm}^3$.

Todas las etapas de la metodología han sido afinadas previamente con una muestra falsa, (los datos obtenidos no se incluyen en el apartado de resultados) para minimizar al máximo los errores sistemáticos.



5.3- ÁREAS DE ESTUDIO

Como viene indicado en el propio objetivo del proyecto, la línea del presente trabajo es la cuantificación numérica del banco de semillas en áreas afectadas por deslizamientos de ladera. Específicamente se calculó el número de semillas por metro cuadrado referido a cada perfil de suelo y el número total de semillas por metro cúbico para cada parcela. Pero la obtención aislada de estos datos, admitiendo además el desconocimiento del valor real de este, no aporta información suficiente. Requerimos pues de la misma categoría de datos en áreas disímiles para una comparación numérica efectiva.

Con los conceptos explicados anteriormente sobre lo que representan los bancos de semillas y las variables que inciden sobre ellos, se han elegido áreas con características ecológicas diferenciadas. Las zonas de bosque primario y secundario como ecosistemas maduros y alta estabilidad que nos arrojen datos de referencia (áreas control). Potreros que, hayan o no sufrido fenómenos de deslizamiento, habrán de tener un banco de semillas alterado, y finalmente áreas de deslizamiento. Son con los datos obtenidos sobre estas áreas, fuertemente impactadas, sobre las zonas en las que establecer el potencial de regeneración o, establecer que medidas de rehabilitación se pueden llevar a cabo.

La toma de muestras en cada zona se realizó según la metodología explicada en el apartado 5.4. Podrán variar el número de puntos muestreados en cada zona, justificándose este hecho individualmente a continuación.

El estudio pretende pues abarcar en sus sucesivas fases de ejecución, el análisis del banco de semillas, fenómenos de lluvia de semillas y paisaje de las siguientes zonas “TIPO”:



Bosque Primario. Ecosistema de referencia

Nombre del lugar: Finca los Gurdian, Santa Bárbara

Fecha: 30/10/2010

Coordenadas: Muestreo realizado con anterioridad a mi incorporación al proyecto. Datos no disponibles.

Parcela 1 (P1):

Parcela 2 (P2):

Parcela 3 (P3):

Parcela 4 (P4):

Esta zona de estudio corresponde a una zona de bosque primario en la que preexistían montadas cuatro parcelas de 2500 m² para monitoreo ecológico permanente. La extensión de estas cuatro parcelas suma una superficie total de una hectárea. En cada una de ellas se procedió al montaje de nuestras parcelas de 1m² para la extracción de las muestras de suelo.

Según la clasificación de las zonas de vida de Holdrige, el área correspondería a Bosque Pluvial Montano Bajo.

Bosque secundario. Ecosistema de referencia

Próximas fases del estudio.

Zona de deslizamiento. Potrero

Nombre del lugar: San Rafael de Varablanca

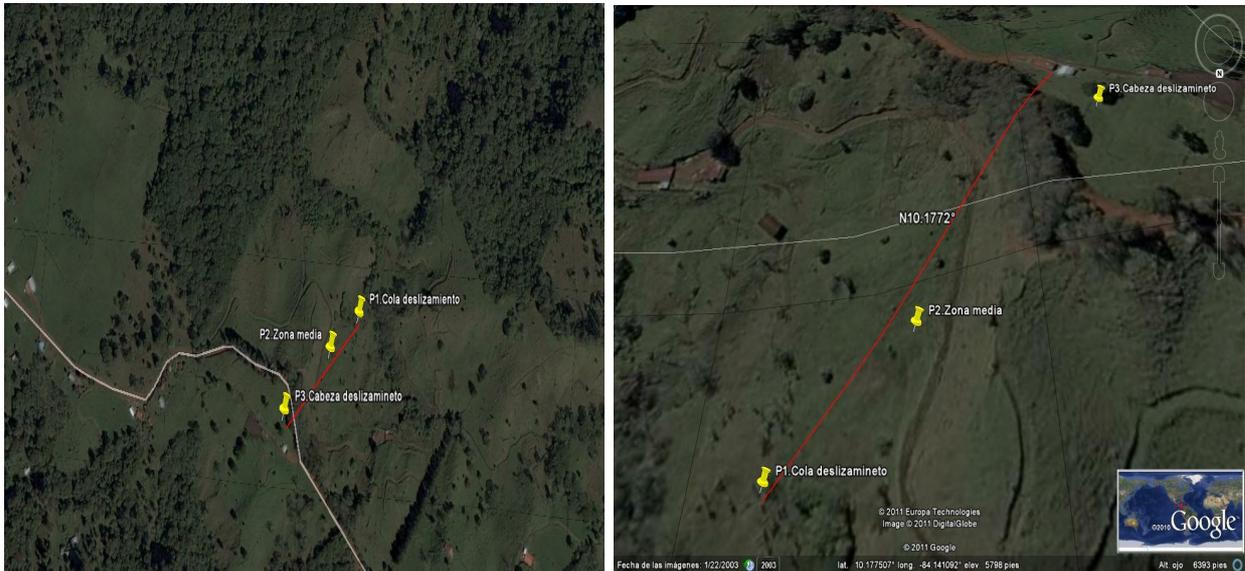
Fecha: 22/03/2011

Coordenadas:

Parcela 1 (P1): N 10.17813°; W 084.14045°

Parcela 2 (P2): N 10.17766°; W 084.14102°

Parcela 3 (P3): N 10.17688°; W 084.14190°



Fuente: Google earth

Esta zona de estudio corresponde a un deslizamiento activado por el terremoto del ocho de enero en el distrito de San Rafael de Varablanca (Heredia). El uso de las tierras previo al seísmo era ganadero (potrero), observándose la falta de cubierta vegetal arbórea (fotografía derecha. Año 2003). La distancia aproximada desde la cabeza del deslizamiento a la cola de este, coincidente con una quebrada, es de 270m. Parte de la carretera de lastre y la vivienda de la parte superior fueron afectados por el movimiento de tierra (Foto 5). En la fotografía número 6 del anexo fotográfico se aprecian las dimensiones del deslizamiento.

Existe una masa boscosa desarrollada fuertemente fragmentada por los usos agrícolas y ganaderos en las inmediaciones a una distancia que oscila entre los 200 y 300 m en dirección norte, sur y oeste. La altura del lugar medida en el punto central del deslizamiento es de 1774 metros sobre el nivel del mar. Según la clasificación de las zonas de vida de Holdrige, el área correspondería a Bosque muy húmedo montano bajo.

El muestreo realizado consistió en la elección de tres puntos situados longitudinalmente al flujo de materiales. Con estos tres puntos introducimos el gradiente topográfico como variable de estudio. Resulta en el caso de los deslizamientos de vital importancia. Esta diferencia en el comportamiento de los materiales, dándose



zonas de arrastre y zonas de sedimentación, ha de influir presumiblemente en el estado del banco de semillas en cada punto.

Zona de deslizamiento. Bosque natural

Próximas fases del estudio.

Potrero. Ausencia de deslizamiento

Próximas fases del estudio.

Muestra falsa. Deslizamiento

Nombre del lugar: Catarata de la Paz

Fecha: 22/03/2011

Coordenadas:

Parcela 1: N 10.21592°; W 084.16918°

5.4- PROTOCOLO DE TRABAJO EN EL CAMPO

El estudio del banco de semillas se inició con las salidas programadas para la toma de las muestras de suelo. Las diferentes áreas en donde se tomaron las muestras han sido especificadas y justificadas en el apartado anterior. Evidentemente la elección de cada lugar nace de un conocimiento de la zona y del diseño previo del estudio. Con todo ello, en cada salida de campo se determina in situ el punto exacto de muestreo, siguiendo el método del “criterio experto”.

Una vez en el lugar, se hace una inspección ocular del sitio y se analizan aspectos a tener en cuenta: dirección y pendiente del deslizamiento, longitud de éste, orografía, representatividad del conjunto, existencia de claros en el bosque, etc., en definitiva, variables que en cada caso se consideren influyentes en la variabilidad de la unidad de estudio.



Elegidos los puntos de cada zona donde establecer las parcelas de 1m² se procedió a su montaje. Tomamos cuatro estacas de madera, y con ayuda de cinta métrica se clavan los cuatro vértices del cuadrado de 1m por 1m. Se coloca un hilo que rodee las cuatro estacas delimitando claramente la parcela. En dos de los lados contiguos entre si, se colocan a una distancia de 25cm cinta coloreada. Así dibujamos intuitivamente una cuadrícula interior de 16 subunidades, mejorando y facilitando la distribución en el espacio de los seis cilindros que han de muestrear el metro cuadrado elegido (Foto 7 y 8). Debe evitarse la colocación de cilindros en más de una esquina, o evitar que estén excesivamente juntos entre si.

Sin eliminar los elementos vegetales de la capa superficial (pueden existir semillas enterradas o asociadas al mantillo), clavamos los cilindros en el suelo hasta el propio borde. Habrá que ayudarse además de una madera plana, que apoye transversalmente en el cilindro. Es sobre esta madera que golpeamos con el martillo, evitando abollar el cilindro, lo que supondría alteraciones posteriores en los volúmenes de tierra muestreados. La extracción de los cilindros se realiza retirando con una pala la tierra de alrededor, evitando hacer palanca. Finalmente manualmente se extrae el cilindro con la muestra en el interior. Con una paleta se hace un corte limpio en el límite inferior para desechar el material sobrante, y sobre una bandeja se procede al vaciado del material y su introducción en bolsas “Ziploc”. Se repite el procedimiento explicado en cada tipo de zona, en cada parcela y con cada uno de los cilindros.

Previamente se rotularon las seis bolsas con la información correspondiente al nombre del lugar, número de parcela y profundidad del perfil (Foto 9). Además se tomó nota de las coordenadas con GPS para generación de mapas y determinación de las zonas de vida.



5.5- PROTOCOLO DE TRABAJO EN EL LABORATORIO

5.5.1- SUBDIVISIÓN DE LAS MUESTRAS

Las muestras de suelo que se van extrayendo en las sucesivas fases del estudio y salidas de campo, son transportadas al laboratorio. Aquí se procede a un primer pretratamiento de la muestra, consistente en la subdivisión equitativa de cada una de estas. Con esto, se obtienen de las seis profundidades de cada parcela, dos muestras de igual peso, una para llevar a cabo el método directo de conteo (llevándose esta a congelar) y otra para el método indirecto de conteo por germinación.

Esta última técnica requiere el mantenimiento de la viabilidad de las semillas, por ello se declinó la opción de su congelación. Con esto se quiere evitar la pérdida de viabilidad de las semillas, ya que el rango de temperaturas en el que las semillas no se ven afectadas varia dependiendo de las especies entre los $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta los $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Debido a que nuestro estudio es a nivel de comunidad, no podemos fijar una temperatura de congelación sin que se afecte potencialmente a las semillas de ciertas especies. Si se tiene en cuenta que el experimento de germinación ha de prolongarse a lo largo de un año, se resolvió que el tiempo desde la toma de la muestra hasta su puesta en germinación en vivero no se demore más allá de siete días. Durante este periodo, las muestras se conservaran en condiciones de oscuridad para evitar la germinación de semillas en el interior de los envases de almacenaje y su probable pérdida al ser transplantadas al vivero.

El proceso de subdivisión se inició con la pesada de cada una de las bolsas con muestra. Se pesaron también tres bolsas vacías del tipo “Ziploc” en las que se guardaron las muestras en el campo para sacar un valor promedio del envase. La obtención de este valor y su diferencia respecto al valor del envase y la muestra contenida, nos permite inferir valores reales de peso de suelo en relación a número y densidad de semillas. Paralelamente se rotularon un número de bolsas igual al de muestras existentes con la misma nomenclatura (nombre del lugar, número de parcela y profundidad



correspondiente). Se añadió un código que diferencia las que han de ser llevadas a vivero de las que han de ser conservadas en congelador hasta su tamizaje. En estas últimas se introdujo además un identificador metálico en el interior por si durante el proceso de almacenaje se deterioraba el marcaje con rotulador.

A continuación se vierte cada muestra en una bandeja para su correcta homogenización manual (mediante guante de látex) antes de la subdivisión. En los casos donde se presentaron fragmentos de gramíneas, raíces o rocas, se realizó un reparto equitativo entre las dos submuestras (Foto 10). Para finalizar el procedimiento se fue repartiendo desde la bandeja a cada par de bolsas anteriormente rotuladas y con ayuda de la báscula, hasta alcanzar la mitad del peso en cada una. Con la ayuda de una brocha se lavaron los restos de suelo de la bandeja.

En esta primera etapa las muestras de las diferentes salidas de campo destinadas al conteo directo se fueron acumulando en el congelador, pudiéndose ejecutar las fases posteriores de laboratorio según la disponibilidad de tiempo venidero. Por contra las muestras destinadas a germinación se prepararon como se ha dicho, para en un plazo de siete días como máximo estar sembradas en el vivero.

5.5.2- TAMIZADO DE LAS MUESTRAS

Las submuestras destinadas al conteo directo de semillas fueron sometidas a un proceso de tamizaje, con el objetivo de reducir el volumen de la muestra, facilitando en última instancia el posterior conteo de semillas en la lupa. Se observaron en nuestro caso, reducciones de volúmenes en la mayoría de los casos superiores al 50%. Las reducciones fueron mayores en las muestras correspondientes a las profundidades 10cm, 15cm y 20cm, donde la importancia relativa de la capa superficial (materia orgánica sin descomponer, restos vegetales, rocas...) respecto al total de suelo es menor. Con este proceso de cribado, y habiendo seleccionado el tamiz de 0,25mm como el de menor luz de malla, se consigue el desagregado y evacuación de la fracción mineral de limos y arcillas.



Superpuestos al tamiz de 0,25 mm, se colocaron tres tamices adicionales en orden creciente de luz de malla (0,5 mm, 1 mm y 2 mm respectivamente) (Foto 11).

La forma de proceder es mediante tamizado en húmedo, es decir, lavado de las muestras de suelo con agua a través de la columna de tamices. Se vierte la muestra de suelo en el tamiz superior (2 mm). La bolsa que contenía la muestra se lava con agua (se operó en todo momento con la intención de minimizar pérdidas de suelo y semillas), vertiéndose sobre la columna de tamices. A partir de aquí, se va añadiendo agua poco a poco, y con guante de látex se remueve la masa de suelo, favoreciendo el filtrado. Se descartó el uso de espátulas para evitar el deterioro de los propios tamices y la posible degradación y rotura del exocarpo de cierto número de semillas. A medida que va avanzando el lavado se pueden dar problemas de taponamiento de los tamices inferiores por parte de las arcillas y limos. Se aconseja el continuo zarandeo manual de los tamices para facilitar el paso del agua. Se decidió para evitar dicho taponamiento del sistema y evitar la pérdida de materiales por rebose de agua por las juntas entre tamices, operar con las muestras $Z=10$ cm, $Z=15$ cm y $Z=20$ cm en dos fases separadas consecutivas.

Cuando se consideró que el material restante no se podía reducir más, vaciamos y limpiamos el interior del tamiz con una espátula, pasándose posteriormente a unos recipientes plásticos previamente etiquetados. Separamos este del resto y sobre la propia columna de tamices vertemos agua con la manguera por el lado inferior. Los restos adheridos al tamiz son recuperados volteándolos sobre una cartulina de color blanco. Al hacer esta operación, las fuerzas de cohesión-adhesión del agua impiden la caída del material y mediante un golpeteo suave, conseguimos su caída sobre la mencionada cartulina. Con espátula y brocha se recoge el resto de muestra y se pasa al recipiente correspondiente.

Cuanto más intensa se haga la etapa de lavado, más fácil será el posterior conteo de semillas. Primero por la reducción del volumen de cada muestra, y después porque se consigue evitar que queden porciones granulométricas de diámetros inferiores, que dificultan el conteo final.



De cada parcela de un metro cuadrado, se habrán de obtener 4 fracciones granulométricas (cuatro recipientes, Foto 12) con muestra de material por cada una de las seis profundidades consideradas; lo que hace un total de 24 submuestras por cada parcela. Es imprescindible el correcto etiquetado de cada recipiente por el continuo proceso de multiplicación de submuestras que se va dando con la criba (Foto 13).

A continuación se van llevando todos los recipientes a un secador de semillas para evitar con ello, la posible proliferación de hongos o la potencial germinación de semillas en los recipientes. El secador se mantuvo encendido 12 horas al día a una temperatura aproximada de 29 °C, y con valores de humedad próximos al 60% (Foto 14). Con el secado, que facilita el manejo de la muestra debajo de la lupa, termina el proceso de preparación de la muestra.

5.5.3- CONTEO DE SEMILLAS

Esta es la fase final de trabajo en el laboratorio. Todas las muestras tamizadas y secadas pasaron a la etapa de conteo directo.

Es la etapa que requiere mayor inversión de tiempo y que resulta más tediosa. Para que el método aplicado sea más rentable en términos de tiempo invertido, se decidió aplicar un tratamiento extra a la fracción granulométrica retenida en el tamiz 0'25mm. Con ello conseguimos una mayor reducción de los volúmenes de tierra a analizar. El resto de muestras pasan directamente al proceso de separación, conteo y almacenaje de semillas.

Fracciones 2 mm, 1 mm y 0,5 mm.

Muestra a muestra se vierte el contenido de cada submuestra sobre un papel cuadrado. Con un pincel se liberan los restos adheridos a las paredes del recipiente. Con ayuda de espátulas de pequeñas dimensiones esparcimos la muestra sobre la superficie de trabajo y mediante una lupa de mesa de tres dioptrías se empezó el conteo



(Foto 15). Guiados por la subdivisión que imprime la cuadrículada, vamos desechando el suelo revisado y extrayendo con pinzas las semillas localizadas. Se estableció como criterio de validez, el conteo de toda semilla que mantuviese intacto como mínimo el 75% de su estructura.

Las semillas así separadas se guardaron para, en futuras etapas del proyecto, medir los pesos específicos de las semillas, con el objetivo de correlacionar esta variable con el volumen de suelo, el número de semillas...

Fracción de 0,25mm

El análisis de la fracción menor requiere, por sus dimensiones, el uso de estereomicroscopio para la correcta discriminación entre las partículas de suelo y las semillas. Con el máximo aumento posible que permite este aparato, se consigue la visualización de muy poca cantidad de muestra en su campo de visión (5 cm² de superficie aproximadamente). Por ello, con los volúmenes finales obtenidos con el cribado, se decidió aplicar la técnica de extracción de semillas por densidad. Así se consiguió discriminar la fracción orgánica (semillas incluidas) de la fracción mineral del suelo y reducir notablemente el volumen que ha de pasar al estereomicroscopio.

La técnica consiste en la preparación de una disolución de agua y azúcar llevada a una densidad conocida. Con las operaciones pertinentes y un densímetro, se consiguió elevar la densidad de la solución hasta los 1,24 g/cm³. En un erlenmeyer de 2000 ml se preparó la cantidad total de solución requerida, constituida por 1200 ml de agua y 2000 g de azúcar. Estas cantidades pueden variar en cada caso por los diferentes niveles de glucosa presentes en el azúcar.

Previamente se pesaron todas las muestras de 0,25 mm para conseguir mantener una relación constante entre la cantidad de suelo y la solución preparada. Para ello se usaron tubos de ensayo de máquina centrífuga de 50 ml. La relación mantenida fue de 1:3, es decir, cada muestra de suelo se reparte en uno, dos o tres tubos en función de si su peso es <15 g, <30 g o <45 g y se añade solución hasta un volumen de 45 ml.



Seguidamente se agitan manualmente las mezclas durante dos minutos. Con esto se facilita la flotación de todo el material vegetal, y se evita que las semillas queden retenidas entre las partículas de suelo al ser sometidas al intenso proceso de centrifugado. La centrifugación tiene como objetivo el consolidar la sedimentación del material retenido en el fondo, y evitar que este, no sea vertido al proceso posterior de filtrado.

El remanente sólido flotante en los tubos, es vertido sobre un filtro de celulosa y sometido a un proceso de succión para acelerar el proceso. En este punto se le va añadiendo abundante agua para facilitar el filtrado y limpiar la muestra de restos de azúcar.

Los filtros son retirados con pinzas y depositados sobre placas Petri debidamente rotuladas. Seguidamente se llevan al secador de semillas para ya en seco, desprender el material del filtro con una espátula de pequeñas dimensiones y depositarlo nuevamente sobre el tamiz de 0'25mm. Con este tamizaje en seco se consigue una reducción del volumen de muestra superior al 70%, minimizándose notablemente el tiempo requerido para el conteo de semillas de la fracción 0'25mm.

5.6- PROTOCOLO DE TRABAJO EN EL VIVERO

Las submuestras provenientes de la primera etapa del trabajo de laboratorio son transportadas en bolsas "Ziploc" hasta el vivero. Aquí es donde se inicia el proceso de conteo indirecto de semillas induciendo su germinación. Se establecen los niveles óptimos de luz, humedad y temperatura para favorecer la emergencia de plántulas y romper en lo posible los estados de latencia.

Las muestras fueron volcadas a las bandejas de siembra. Los materiales elegidos fueron aluminio y plástico por razones económicas y por su baja reactividad. Se perforaron en la parte inferior para asegurar un correcto drenaje del agua de riego y evitar condiciones de anoxia.



Las dimensiones de los recipientes varían en función de la cantidad de suelo a sembrar. Se pretende conseguir una capa de suelo lo suficientemente gruesa para asegurar el correcto desarrollo del sistema radicular y al mismo tiempo impedir fenómenos de inhibición de la germinación de semillas por falta de luz (Foto 16). Resulta recomendable la colocación dentro del propio vivero y protegiendo las bandejas de siembra, de un plástico que aisle de la potencial contaminación por lluvia a las semillas ajenas al experimento (Foto 17).

Se consideró necesario por lo prolongado del proceso y las condiciones de sol y humedad en el vivero, realizar un triple etiquetado de las muestras. Se rotularon las bandejas, y además se colocaron balizas plásticas dentro de cada bandeja rotuladas y serigrafiadas.

El experimento de germinación se prolongará como ya se ha dicho a lo largo de un año desde su siembra. En los primeros momentos desde la siembra, el control de las nuevas plántulas emergidas se realizará semanalmente. Posteriormente y según el criterio personal en función de los cambios que se observen, este seguimiento se realizará en periodos quincenales e incluso mensuales.

Para el control de germinación se procede a contabilizar el número de plántulas emergidas la primera semana. Seguidamente se van anotando en las sucesivas visitas al vivero, la cantidad de plántulas vivas y muertas para cada fecha en la que se realiza el control. Estas últimas se detectan si el número de semillas vivas en la visita anterior es inferior al número de semillas vivas en la visita reciente. Dado que las plántulas muertas entran también en el computo del número de semillas, se procederá al finalizar el experimento de germinación, a aplicar la siguiente fórmula con los datos obtenidos:

$$\mathbf{N^{\circ} \text{ Total semillas} = A + [(Va + Ma) + Vp]}$$

A = N° semillas acumuladas

Va = N° semillas vivas semana actual

Ma = N° semillas muertas semana actual

Vp = N° semillas vivas semana precedente



A lo largo del tiempo del experimento se procederá a la identificación taxonómica de la especies por parte del técnico correspondiente. Una vez identificadas no se elimina el individuo, sino que se permite que siga su desarrollo. Además, en caso de floración, se decidió contabilizar la posible descendencia con capacidad germinativa, ya que entra dentro de la propia dinámica que sigue cualquier banco de semillas.



6- RESULTADOS

A continuación se muestran las tablas de datos obtenidas con el conteo de semillas del laboratorio. Cada tabla corresponde a cada uno de los dos lugares muestreados. Se observan el número de semillas para cada parcela, para cada profundidad y para sus cuatro porciones granulométricas. Las diferentes fracciones granulométricas corresponden a la categoría de tamices en sus diferentes tamaños de luz de malla (2 mm, 1 mm, 0,5 mm y 0,25 mm).

Tabla 1:

San Rafael de Varablanaca				
Profundidad (cm)	Tamices (mm)	Parcela 1 (Nº Semillas)	Parcela 2 (Nº Semillas)	Parcela 3 (Nº Semillas)
Z = 3	2	2	0	0
	1	10	1	4
	0,5	158	2	65
	0,25	4	11	2
Z = 5	2	1	0	0
	1	25	1	0
	0,5	115	2	0
	0,25	15	9	7
Z = 8	2	30	0	0
	1	92	1	1
	0,5	306	0	3
	0,25	22	15	3
Z = 10	2	0	0	0
	1	18	0	1
	0,5	24	4	1
	0,25	8	5	6
Z = 15	2	24	0	0
	1	139	0	2
	0,5	184	1	2
	0,25	16	4	10
Z = 20	2	16	0	0
	1	48	1	0
	0,5	153	1	0
	0,25	27	11	2



En el área de deslizamiento, dónde las parcelas se distribuyen a lo largo de un gradiente topográfico, la parcela 1 corresponde a la zona baja del deslizamiento, la parcela 2 a la zona media y la parcela 3 a la cabeza del deslizamiento o zona alta.

Tabla 2:

Bosque Primario. Ecosistema de referencia					
Profundidad (cm)	Tamices (mm)	Parcela 1 (Nº Semillas)	Parcela 2 (Nº Semillas)	Parcela 3 (Nº Semillas)	Parcela 4 (Nº Semillas)
Z = 3	2	9	73	2	
	1	3	13	3	
	0,5	4	13	2	
	0,25	49	19	16	
Z = 5	2	6	101	1	6
	1	7	9	6	5
	0,5	28	12	3	71
	0,25	55	33	5	6
Z = 8	2	14	50	3	3
	1	5	6	6	9
	0,5	17	23	6	51
	0,25	40	19	28	13
Z = 10	2	6	75	0	8
	1	9	9	3	27
	0,5	3	30	3	126
	0,25	55	27	34	43
Z = 15	2	13	34	2	4
	1	17	6	5	10
	0,5	26	90	2	177
	0,25	46	37	21	35
Z = 20	2	4	24	8	4
	1	10	10	7	14
	0,5	16	83	19	198
	0,25	28	26	8	23

El dato correspondiente a la parcela cuatro del “Bosque Primario. Ecosistema de Referencia” y profundidad 3 cm, aparece en blanco por extravío de la muestra durante su almacenaje en el congelador. Los cálculos, gráficos y estadísticos realizados con estos datos se han llevado a cabo manteniendo las categorías en blanco. En caso de los cálculos estadísticos se comprobó previamente que este hecho no alteraba



sustancialmente los resultados. Se desestimó en consecuencia rellenar los campos con una media de los valores de la misma categoría.

- Estudio de las profundidades:

Seguidamente se presentan los datos de densidad de semillas (n° semillas/ m^2) para cada profundidad, parcela y lugar. Estos datos se obtienen de agregar el número de semillas para cada profundidad, obviando la distinción por tamaño granulométrico. El número de semillas recabadas en el área del cilindro para cada profundidad (Tablas 1 y 2) se extrapolan a una superficie referencia de $1m^2$.

Tabla 3:

San Rafael de Varablanca			
Profundidad (cm)	Parcela 1 (Semillas/ m^2)	Parcela 2 (Semillas/ m^2)	Parcela 3 (Semillas/ m^2)
Z = 3	19677,4	1505,4	7634,4
Z = 5	16774,2	1290,3	752,7
Z = 8	48387,1	1720,4	752,7
Z = 10	5376,3	967,7	860,2
Z = 15	39247,3	537,6	1505,4
Z = 20	26236,6	1397,8	215,05

Gráfico 1:

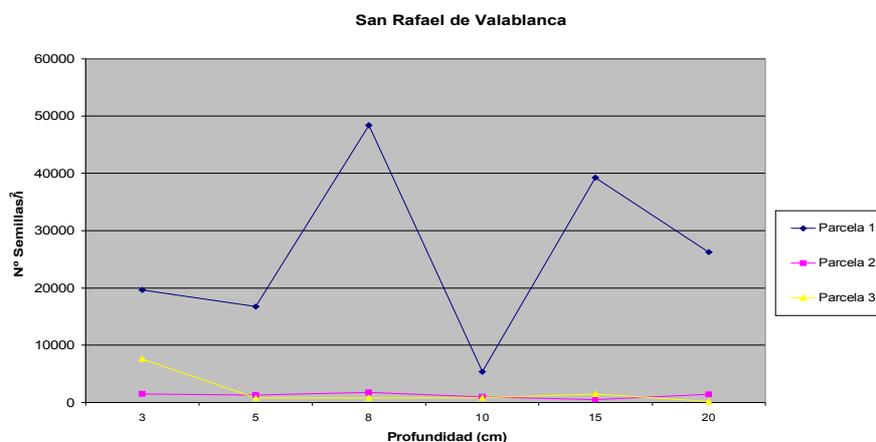
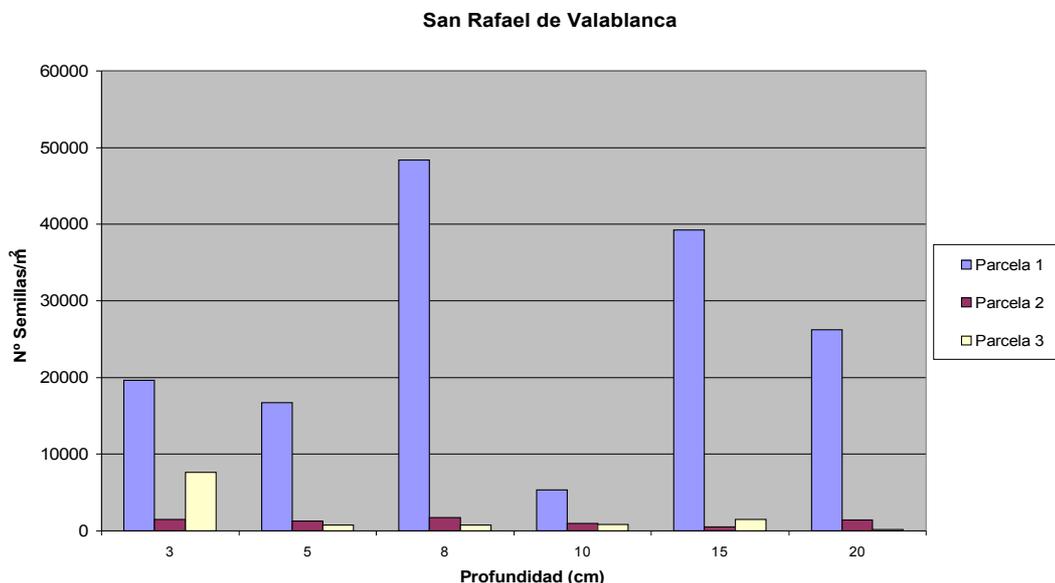




Gráfico 2:



Se observa claramente la mayor densidad de semillas presentes en la parcela 1 respecto al resto de parcelas. Para las seis profundidades muestreadas, el número de semillas/m² de la parcela 1 (zona baja del deslizamiento), supera muy ampliamente a la del resto de parcelas del deslizamiento.

Mediante análisis ANOVA determinamos si la variabilidad de los datos, es debida a la distinta naturaleza topográfica de las tres parcelas, o viene dada por las diferentes profundidades de muestreo.

Tabla 4:

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico de F
Entre Grupos	2.374.175.791,6	2	1187087896	14,05	0,00036521	3,6823203
Intra Grupos	1.267.612.597,3	15	84507506,49			
Total	3.641.788.388,8	17				

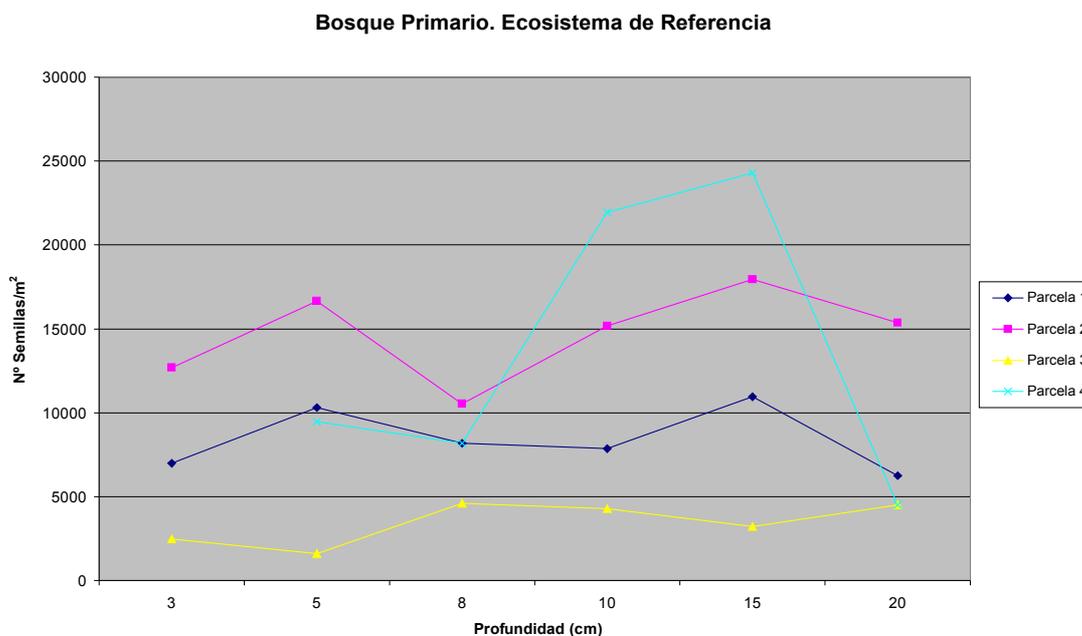


Con un valor de la probabilidad menor a 0,05 ($P=0'000365$), rechazamos la hipótesis nula que presupone la igualdad de medias de los tres grupos (parcelas 1,2 y 3), y consecuentemente aceptamos la hipótesis alternativa. Así se concluye que la variabilidad en la densidad de semillas viene dada mayoritariamente por la parcela de procedencia de las muestras más que por la profundidad a la que se muestrea.

Tabla 5:

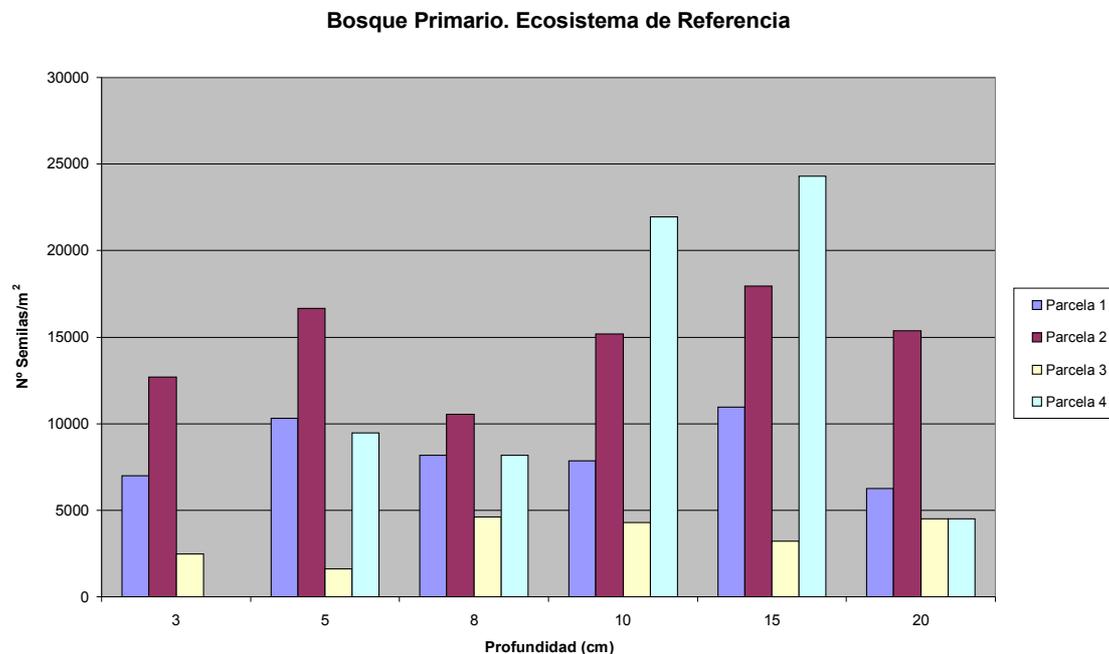
Bosque Primario. Ecosistema de Referencia				
Profundidad (cm)	Parcela 1 (semillas/m ²)	Parcela 2 (semillas/m ²)	Parcela 3 (semillas/m ²)	Parcela 4 (semillas/m ²)
Z = 3	6989,2	12688,2	2473,1	
Z = 5	10322,6	16666,7	1612,9	9462,3
Z = 8	8172	10537,7	4623,7	8172
Z = 10	7849,5	15161,3	4301,1	21935,4
Z = 15	10967,7	17956,9	3225,8	24301,1
Z = 20	6236,5	15376,3	4516,1	4516,9

Gráfica 3:





Gráfica 4:



De igual manera que en el área de deslizamiento, realizamos también un análisis ANOVA para las cuatro parcelas de Bosque primario.

Tabla 6:

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico de F
Entre Grupos	473411528,2	3	157803842,7	8,006270714	0,001189306	3,12735001
Intra Grupos	374490586,1	19	19710030,85			
Total	847902114,2	22				

El valor de la probabilidad ($P=0,001189$) es inferior a $0,05$, por ello rechazamos de nuevo la hipótesis nula. Concluimos paralelamente que también en las parcelas de bosque primario donde no hay un gradiente topográfico definido, la varianza de datos se debe también a la parcela de procedencia más que a las diferentes profundidades de muestreo.



Esta variabilidad entre parcelas dentro del bosque primario se debe al criterio de elección de las mismas; es decir, para buscar una mayor representatividad de los resultados, se eligieron a la hora de muestrear, cuatro parcelas con diferencias características estructurales dentro del mismo bosque (claros...). Además cabe recordar la irregularidad en la distribución horizontal de las semillas a pequeña escala citada por Phillips (1954)

- Estudio de las fracciones granulométricas:

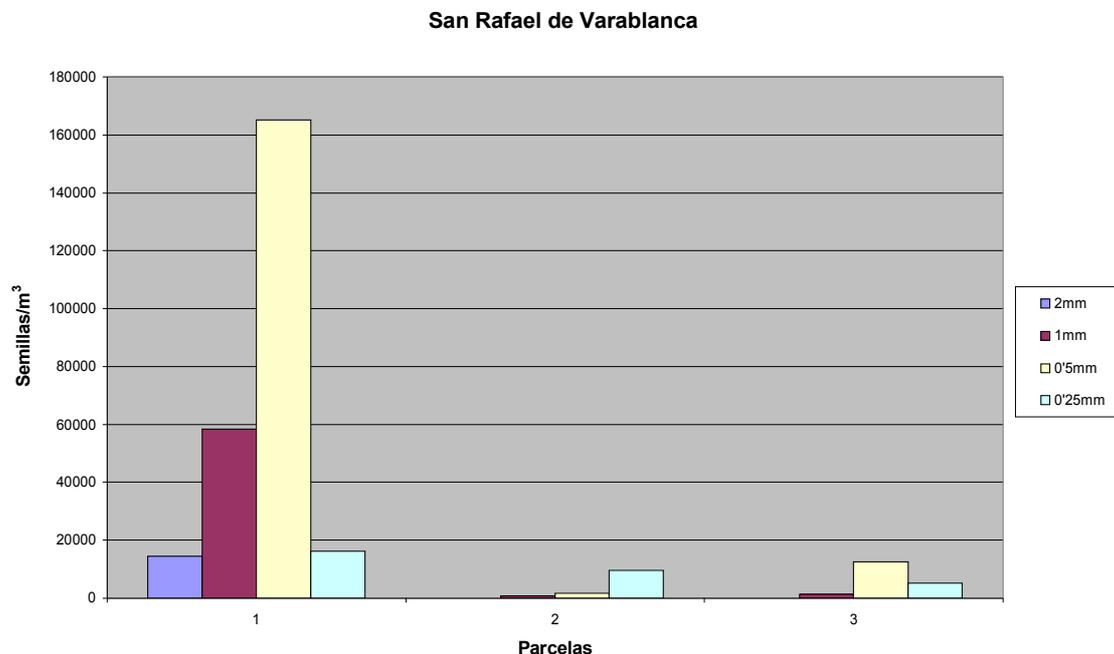
Para el análisis de las diferentes fracciones granulométricas agregamos los datos de las Tablas 1 y 2 obviando la variable de la profundidad, y totalizando para cada parcela el número de semillas retenidas en cada tamiz. La conversión de datos en unas unidades que sean útiles y fácilmente interpretables, se ha hecho en este caso sumando el volumen de los seis cilindros, y extrapolándolo a un volumen referencia de 1m^3 .

Tabla 7:

San Rafael de Varablanca			
Tamices	Parcela 1 (Semillas/m³)	Parcela 2 (Semillas/m³)	Parcela 3 (Semillas/m³)
2mm	14405,9	0,0	0,0
1mm	58326,4	702,7	1405,5
0`5mm	165141,1	1756,8	12473,4
0`25mm	16162,7	9662,5	5270,5



Gráfico 5:



Se sigue apreciando con claridad la diferencia en la cantidad de semillas entre la zona baja de la parcela 1 del deslizamiento respecto a la cantidad de semillas de las zonas topográficamente más elevadas.

En las tres parcelas, las semillas de diámetro superior a 2 mm son las menos abundantes (no se hayan en el caso de la parcela 2 y 3). En cambio se observa que son las semillas de diámetro comprendido entre $[0.5;1[$ las que hacen que el valor de densidad de semillas de la parcela uno sea tan elevado.

Tabla 8:

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico de F
Entre Grupos	9478638077	2	4739319038	2,8130986	0,11246046	4,25649473
Intra Grupos	15162593560	9	1684732618			
Total	24641231637	11				

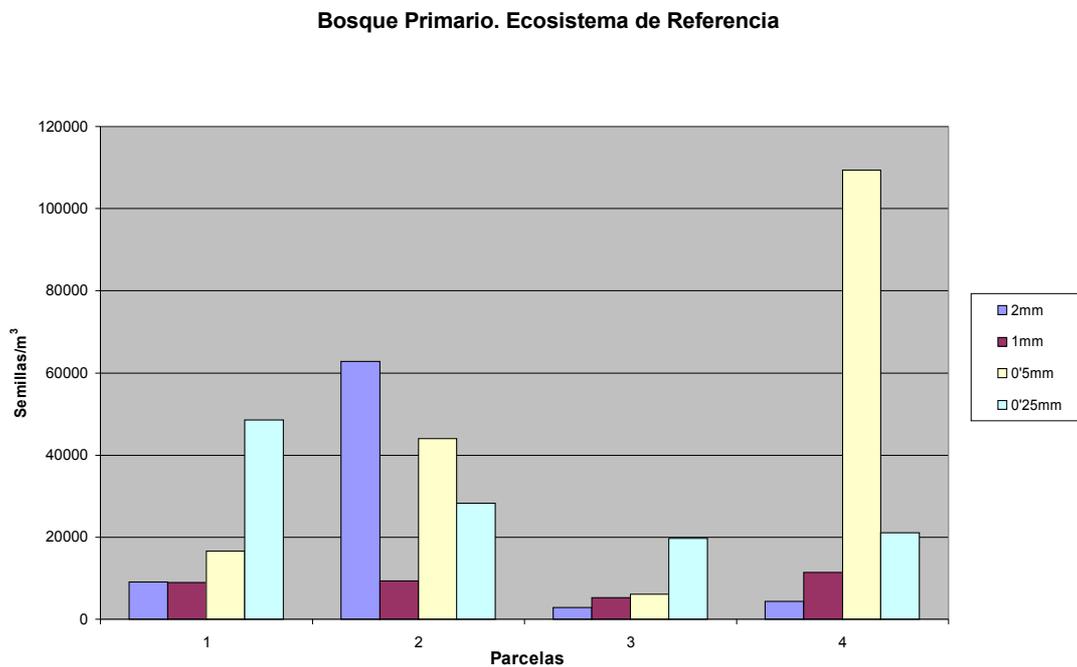


El test ANOVA realizado, nos da como resultado un valor de la probabilidad de 0'11246, claramente superior al nivel de significación establecido en el 0'05. Con esto se acepta la hipótesis nula, y se concluye que no existen diferencias significativas entre las parcelas. Aunque queda una variabilidad residual (intra grupos) considerablemente elevada que no es explicada por este factor.

Tabla 9:

Bosque Primario. Ecosistema de Referencia				
Tamices	Parcela 1 (Semillas/m ³)	Parcela 2 (Semillas/m ³)	Parcela 3 (Semillas/m ³)	Parcela 4 (Semillas/m ³)
2mm	9135,5	62718,5	2810,9	4392,1
1mm	8959,8	9311,1	5270,5	11419,3
0'5mm	16514,1	44096,2	6148,9	109449,9
0'25mm	48488,2	28284,8	19676,4	21081,8

Gráfica 6:





En las parcelas del bosque primario crece la importancia relativa de las semillas con diámetros superiores a 2 mm. Este hecho se puede interpretar intuitivamente como el reflejo en la existencia de un estrato tanto arbóreo como matorral, que es inexistente en la zona del deslizamiento.

A continuación se presenta la tabla ANOVA en la que al igual que en el caso anterior, aceptamos la hipótesis nula ($p\text{-valor} = 0,4809$), no existiendo diferencias significativas entre las parcelas.

Tabla 10:

<i>Fuentes de variación</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Media de cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Entre Grupos	2189741352	3	729913784,1	0,87545627	0,48090686	3,4902948
Intra Grupos	10005029036	12	833752419,6			
Total	12194770388	15				

- Contraste de “sitios”

Para la comparación del banco de semillas del suelo entre el área de deslizamiento y la zona de bosque primario, se realiza el sumatorio de todas las semillas halladas en cada una de las siete parcelas. Se obvia la diferenciación introducida por las variables profundidad y tamaño granulométrico. Calculamos entonces el volumen total de los seis cilindros muestreadores, para poder extrapolar este volumen a un volumen referencia de 1m^3 .

Tabla 11:

San Rafael de Varablanca		
Parcela 1 (Semillas/m³)	Parcela 2 (Semillas/m³)	Parcela 3 (Semillas/m³)
254036,3	12122,1	19149,3



Gráfica 7:

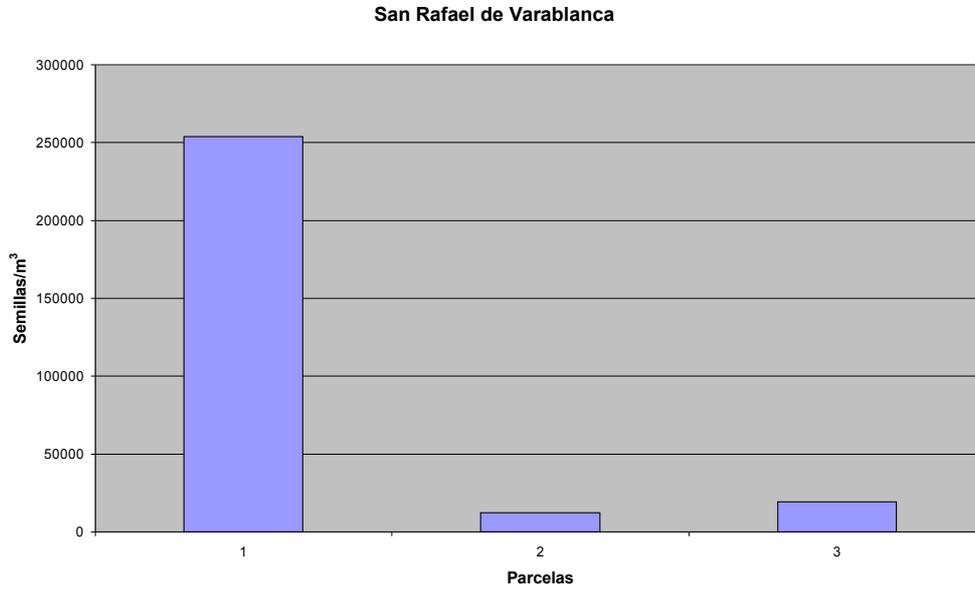
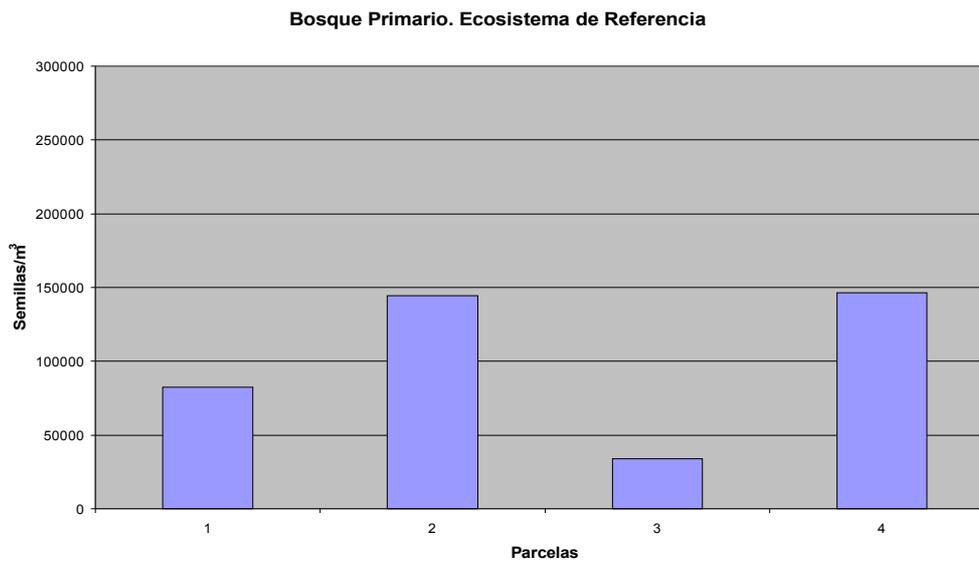


Tabla 12:

Bosque Primario. Ecosistema de Referencia			
Parcela 1 (Semillas/m³)	Parcela 2 (Semillas/m³)	Parcela 3 (Semillas/m³)	Parcela 4 (Semillas/m³)
82570,6	144410,7	33906,6	146343,2

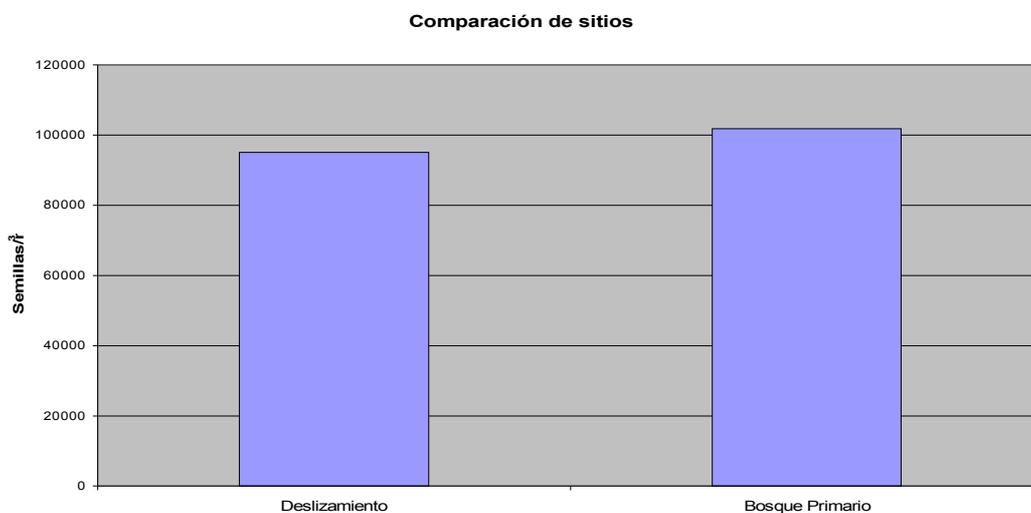
Gráfica 8:





Al confrontar las gráficas 7 y 8, vemos que el valor máximo de semillas/m³ se alcanza en la parcela 1 del deslizamiento, donde presumiblemente se ha dado una acumulación de semillas arrastradas desde lugares topográficos más elevados. Este valor (254036'3 semillas/m³), supera en más de 100000 semillas/m³, al valor máximo de semillas reportado en el bosque primario (146343'2 semillas/m³).

Gráfica 9:



En cambio, si realizamos una media del número de semillas/m³ para cada sitio, unificando los valores de las parcelas que los componen, afloran unos datos que revelan una alta similitud en los niveles de semillas/m³ entre la zona de deslizamiento, y el bosque primario.



7- CONCLUSIONES

Los resultados presentados en el apartado precedente no son datos con los que podamos extraer unas conclusiones definitivas ni absolutas. Es decir, con ellos se cumple el objetivo marcado en el presente trabajo de cuantificar numéricamente el banco de semillas del suelo de las zonas “tipo” estudiadas hasta la fecha, pero habrá en primer lugar, que contraponer los datos del método directo, con los que se obtengan del método indirecto de conteo. Esta fase del proyecto concluirá un año después de la siembra del material recopilado en el campo. Concretamente, en octubre de 2011 las muestras procedentes del bosque primario, y en abril de 2012, las muestras extraídas del área de deslizamiento.

Los resultados cobraran un mayor sentido y arrojaran nueva información cuando se posean además los datos de los bancos de semillas del resto de zonas “tipo” propuestas. Estos trabajos se realizaran desde el propio Laboratorio de Ecología Forestal Aplicada por los sucesivos alumnos de Ingeniería Forestal.

Con el análisis de los horizontes realizado, se proponen una serie de cambios en la metodología empleada. Estamos hablando primeramente de una redefinición de los horizontes a muestrear. Es decir, de las seis profundidades con las que se ha trabajado, unificarlas en categorías que no disten menos de 5cm entre sí. Hay que tener en cuenta que con las profundidades $Z=5$ y $Z=10$ por ejemplo, únicamente se ha muestreado un perfil nuevo de 2cm, ya que los cilindros precedentes $Z=8$ y $Z=3$ ya habrían muestreado el suelo de las capas superiores. Enlazando con esta idea, se debería estudiar la posibilidad de que las muestras extraídas para cada horizonte, fuesen mutuamente excluyentes. Esto implicaría que cada extracción de suelo correspondiese únicamente al intervalo de suelo definido, y que al extraer las muestras de los horizontes subyacentes, estos no incluyeran al horizonte precedente. Con este cambio resultaría mucho más sencillo el correlacionar la densidad de semillas con la profundidad, ya que al ser el volumen de tierra constante, la variación en el número de semillas indicará directamente la existencia de un gradiente del número de semillas respecto a la profundidad.



Con estas modificaciones se minimizarían notablemente los volúmenes de suelo con los que trabajar en el laboratorio, reduciéndose el tiempo requerido para el conteo de semillas. Así se podría plantear un potencial aumento en la profundidad máxima a muestrear, e incluso aumentar la repetición de muestreos para una mayor representatividad de los datos.

Respecto a las fracciones granulométricas resulta todavía más precipitada la exposición de alguna conclusión. Se deberá establecer primero algún tipo de categorización ecológica en relación a los tamaños de semilla cribados.

Aunque gracias a esta clasificación y el almacenaje de las semillas, se procederá en próximas etapas del estudio, a su pesaje. Con esto se conseguirá relacionar el número de semillas contabilizadas en cada profundidad y para cada fracción granulométrica, con el peso de este conjunto de semillas. Así se podrán inferir conclusiones sobre la importancia ecológica relativa de unas y otras semillas.

Esto resulta muy importante por la existencia (corroborado en el trabajo de laboratorio, por ejemplo en la parcela 1, tamiz 0'5mm, de San Rafael de Varablanca) de un elevado número de semillas de gramíneas. En un estudio dónde se analiza la cantidad de semillas a nivel de comunidad, la presencia de especies con estrategias reproductivas de tipo "r" (elevada producción de propágulos) nos podría llevar a conclusiones erróneas sobre el estado real del banco de semillas y su capacidad para la regeneración de la vegetación.

Por este motivo la identificación en el vivero de las especies germinadas, así como el potencial reconocimiento del tipo de semillas, deberá ser un aspecto a tomar en cuenta.

Lo dicho líneas arriba se justifica observando la gráfica 9 del apartado de resultados. Al hacer la media del número de semillas/m³ para cada sitio, se observa, al contrario de lo que se podría pensar inicialmente, que hay muy poca diferencia cuantitativa en el banco de semillas entre el bosque primario y el deslizamiento. Si bien en este último, como se observa en las gráficas 1, 2, 5 y 7 su distribución es muy desigual a lo largo del gradiente topográfico.



Ahondar en el análisis cualitativo del banco de semillas, así como avanzar en las líneas de investigación sobre paisaje y la lluvia de semillas, resulta imprescindible para dotar de sentido global al estudio. Con estas líneas de trabajo podremos acabar de confirmar por ejemplo, si la procedencia de los Jaúles (*Alnus acuminata*) que crecen alrededor de la parcela 3 del deslizamiento (Foto 18 y 19), proceden (improbablemente) del esquelético banco de semillas remanente, o de árboles semilleros cercanos. En resumen, poder definir específicamente el peso de cada variable con incidencia en el proceso de sucesión ecológica, y que haya de llevar, de forma natural o con ayuda antrópica, a la restitución de una cubierta vegetal madura.



ANEXO FOTOGRAFICO



Foto 1: Trabajos de reparación en la carretera Varablanca-Carriblanco (22-3-2011)



Guillem Crespo

Foto 2: Deslizamientos a lo largo de la carretera Varablanca-Carriblanco



Guillem Crespo

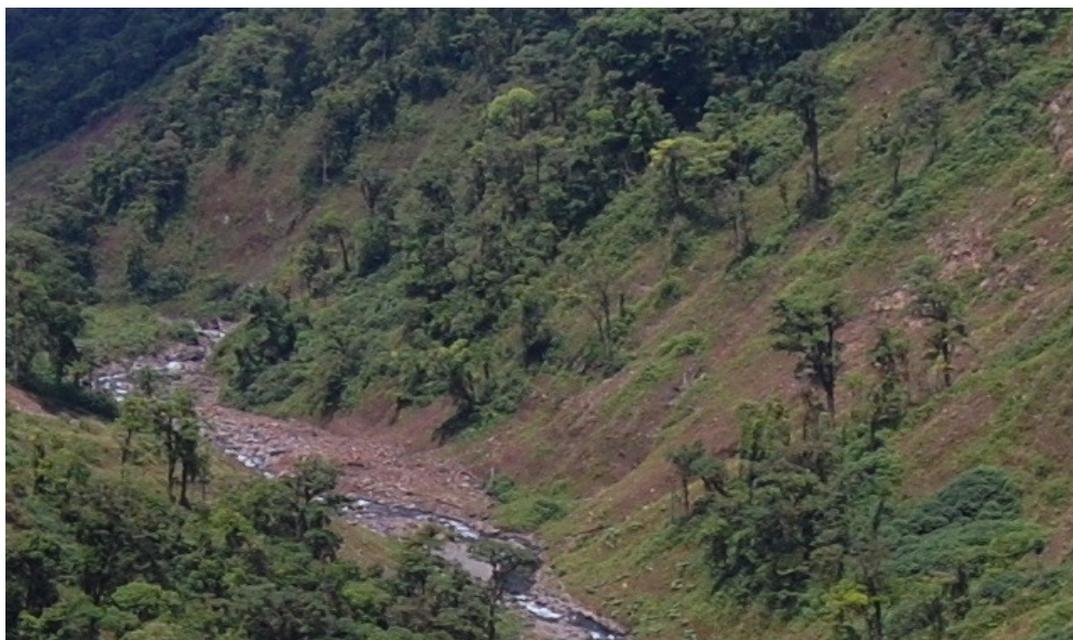


Foto 3: Deslizamientos en el curso medio del Río Sarapiquí.



Guillem Crespo

Foto 4: Detalle del estado de la vegetación del Río Sarapiquí dos años después de los deslizamientos.



Guillem Crespo



Foto 5: Vivienda afectada por el deslizamiento. La carretera trascurría paralela al cableado que se aprecia en la parte superior derecha.



Guillem Crespo

Foto 6: Deslizamiento en toda su extensión. Fotografía realizada desde la zona baja del deslizamiento (Parcela 1).



Guillem Crespo



Foto 7: Parcela 2 (SRVB) con la correspondiente distribución de los cilindros.



Guillem Crespo

Foto 8: Parcela 1 (SRVB) con la correspondiente distribución de los cilindros.



Guillem Crespo



Foto 9: M. Sc. Albert Morera revisando las seis submuestras empacadas y correctamente señalizadas para ser transportadas al laboratorio.



Guillem Crespo

Foto 10: Partición equitativa de cada muestra. Los materiales sólidos grandes como rocas, restos vegetales... se dividen equitativamente entre las dos partes.



Guillem Crespo



Foto 11: Los cuatro tamices superpuestos en orden creciente de luz de malla.



Guillem Crespo

Foto 12: Cuatro recipientes con cuatro fracciones granulométricas correspondientes a un horizonte y parcela determinado.



Guillem Crespo



Foto 13: Recipientes con las fracciones granulométricas de las distintas parcelas y profundidades.



Guillem Crespo

Foto 14: Muestras de suelo en el secador.



Guillem Crespo



Foto 15: Mesa con el material requerido para el conteo. Lupa de mesa, pinzas, espátula, papel cuadriculado y recipiente donde almacenar las semillas encontradas.



Guillem Crespo

Foto 16: Recipientes de diferentes tamaños en función del volumen de tierra a sembrar.



Guillem Crespo



Foto 17: Estructura de plástico para evitar la potencial contaminación por lluvia de semillas.



Guillem Crespo

Foto 18: Jaúles jóvenes en la cabeza del deslizamiento.



Guillem Crespo



Foto 19: Jaúles jóvenes en la cabeza del deslizamiento.



Guillem Crespo



BIBLIOGRAFÍA

Consultaría Ecológica y Técnica de Costa Rica SA, ECOTEC. Diagnóstico Biofísico para Costa Rica. Costa Rica, 2009.

Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias. COE-CIA, Gobierno de Costa Rica. Informe de situación N°.17. Costa Rica, 21/01/2009.

Evaluación de Riesgos Naturales -América Latina-, Consultores en Riesgos y Desastres (ERN). Enfoque integral para el análisis del riesgo. Tomo II, Amenazas por deslizamientos detonados por el sismo de Cinchona de enero de 2009. Costa Rica.

Colegio de Geólogos de Costa Rica. Boletín del Colegio de Geólogos de Costa Rica, Volumen 15, No. 1. Costa Rica, febrero 2009.

Red Sismológica Nacional, UCR-ICE. El Terremoto de Cinchona del 8 de enero de 2009. Costa Rica, abril 2009.

FERRANDIS, P., HERRANZ, J.M & MARTÍNEZ SÁNCHEZ, J.J, (1999). Effect of fire on hard-coated Cistaceae seed Banks and its influence on techniques for quantifying seed Banks. *Plant ecology* 144: 103-144.

FERRANDIS, P., MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, J.J, AGUDO, A., CANO, A.L., GALLAR, J.J. & HERRANZ, J.M. (1999). Presencia de especies del género *Cistus* L. (*Cistaceae*) en el banco de semillas del suelo en el pastizal de la raña del Parque nacional de Cabañeros. Universidad de Castilla-La Mancha.

PIUDO, M.J. & CAVERO, R.Y. (2005). Banco de semillas: comparación de metodologías de extracción, de densidad y de profundidad de muestreo. Universidad de Navarra.

SIONE, SILVANA M & SABATTINI RAFAEL A. (2007). Evaluación del banco de semillas en una arrocera de Entre Ríos (Argentina): Tamaño óptimo de muestra y efecto del gradiente topográfico. *Revista científica agropecuaria* 11(1). Facultad de Ciencias Agropecuarias-UNER.

RECASENS, J., RIBA, F., TABERNER A. & IZQUIERDO J. (1996). La estimación del banco de semillas de suelos agrícolas. Premisas metodológicas en el muestreo. *Ecología* N° 10.



SOUZA MAIA, M., MAIA F.C. & PÉREZ M.A. Banco de semillas en el suelo.
Agriscienta (2006), Vol. XXIII (1): 33-44.

BESNIER ROMERO, F. (1989). Semillas. Biología y tecnología. Ediciones Mundi.Prensa. Madrid.

GUARIGUATA, M. (1998). Consideraciones ecológicas sobre la regeneración natural aplicada al manejo forestal. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Unidad de Manejo de Bosques Naturales. Turrialba, Costa Rica.

THOMSON, J., R. Introducción a la tecnología de las semillas. Editoril Acribia.

SUÁREZ DIAZ, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Colombia.

Instituto Nacional de Estadística y Censos:

www.inec.go.cr

Sistema Nacional de Áreas de Conservación:

www.sinac.go.cr



AGRADECIMIENTOS

Albert Morera Beita

José Pablo Carvajal

Carola

Manuelito

Damián