"QS4"

EXTENSIÓN DE QGIS PARA LA GENERACIÓN DE SITIOS DE MUESTREO DE SUELOS SUSCEPTIBLES A DEGRADACIÓN POR PROCESOS DE SALINIZACIÓN

Autores:

Luis Gerardo Chaparro Penagos

Lina Rocío Viasús Figueredo

Trabajo de grado en modalidad de monografía presentado como requisito parcial para optar por el título de Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Director:

Msc. Salomón Ramírez

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de Ingeniería

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Bogotá D.C., Colombia

Noviembre de 2017

Tabla de Contenidos

1. Introducción 1

2. Problema 3

3. Justificación 5

4. Alcance 7

   4.1. Alcance técnico 7

   4.2. Alcance espacial 7

5. Objetivos 8

   5.1. Objetivo General 8

   5.2. Objetivos Específicos 8

6. Estado del Arte 9

   6.1. Antecedentes 9

   6.2. Marco Teórico 11

7. Metodología 13

   7.1. Análisis de Requerimientos 13

   7.2. Diseño 13

   7.3. Desarrollo 14

   7.4. Validación 14

8. Resultados 15

   8.1. Fase de Análisis de requerimientos 15

   8.2. Fase de Diseño 15

      8.2.1. Diagrama de clases 16

8.2.2. Diagrama de secuencias 16
8.2.3. Diagrama de componentes 17
8.2.4. Diagrama de despliegue 17
8.2.5. Diagrama de vista de alto nivel 18
8.3. Fase de desarrollo 19
8.4. Fase de validación 23
9. Conclusiones 28
10. Recomendaciones 29
11. Referencias 30

Lista de figuras

Figura 1 Esquema metodológico para el desarrollo de la extensión QS4 14

Figura 2. Diagrama de caso de uso 15

Figura 3. Diagrama de clases 16

Figura 4. Diagrama de secuencias 17

Figura 5. Diagrama de componentes 17

Figura 6. Diagrama de despliegue. 18

Figura 7. Vista de alto nivel 19

Figura 8. Interfaz gráfica de usuario - extensión QS 20

Figura 9a Mensajes ejecución tipo de población - plugin QS4 21

Figura 10. Flujo general del algoritmo - plugin QS4 22

Figura 11a. muestreo generado 23

Figura 13. Resultado pruebas de rendimiento – población finita 25

Figura 14. Resultado pruebas de rendimiento – población infinita 26

Figura 15. Resultado pruebas de rendimiento – población infinita 27

1. Introducción

La degradación de suelos por salinización es un problema que afecta la calidad de los suelos a nivel mundial, amenazando la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de los territorios. Ante el aumento en el deterioro de la calidad de los suelos en Colombia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible asumió la responsabilidad de monitorear este recurso, asignando a las autoridades ambientales labores de monitoreo y seguimiento a la calidad de los suelos, según lo establecido en la política Nacional para la gestión sostenible del suelo.

Para dar respuesta a esta labor las autoridades ambientales deben adelantar campañas de muestreo de suelos, definiendo sitios de muestreo estadísticamente representativos, geográficamente accesibles y localizados en unidades de suelo susceptibles a procesos de salinización, sin embargo la falta de herramientas técnicas para definir adecuadamente los sitios dificulta el desarrollo de esta tarea, incrementando considerablemente los costos de la fase de campo de los proyectos y reduciendo la calidad de los resultados generados.

Es por esta razón que surge la necesidad de implementar una herramienta SIG que permita establecer adecuadamente sitios para muestreo de suelos susceptibles a degradación por salinización, que tenga en cuenta las variables biofísicas y de accesibilidad de los territorios y que permita estimar los tiempos asociados a la toma de muestras.

Para dar respuesta a esta necesidad se desarrolló una extensión para software SIG (open source) de escritorio, denominada “QS4” que es capaz de generar sitios de

muestreo dentro de un área de interés específica a partir del análisis de las variables antes mencionadas. La extensión se desarrolló bajo el enfoque de procesos agiles y modelos incrementales enmarcados en una propuesta metodológica de cuatro fases, que contemplaron el análisis de requerimientos, el diseño, el desarrollo y la validación.

La fase de análisis de requerimientos permitió identificar un único caso de uso asociado a la generación del muestreo. En la fase de diseño se concretó conceptualmente el "core" de la extensión, detallando su funcionalidad y la forma en la que se da la interacción con el usuario. En la fase de desarrollo se programó la funcionalidad de la extensión y se construyó su interfaz gráfica, de acuerdo a lo establecido en las dos fases anteriores.

En la etapa de validación se realizó una evaluación de usabilidad y se desarrollaron pruebas de rendimiento, permitiendo establecer la usabilidad global de la extensión y los requerimientos mínimos del hardware y software que garantizan la ejecución ágil de la extensión en un equipo de cómputo.

En general, la extensión QS4 es una herramienta capaz de dar respuesta a la necesidad de identificar sitios idóneos de muestreo de suelos bajo los criterios establecidos, permitiendo dar cumplimiento a la tarea que tienen las autoridades ambientales de adelantar actividades de monitoreo y seguimiento de suelos susceptibles a degradación por salinización.

2. Problema

La degradación de suelos es un problema que afecta la calidad de los suelos a nivel mundial, ocasionado por dinámicas naturales y antrópicas. Ésta se define como la pérdida de la capacidad del suelo para proveer servicios ecosistémicos. Ante el aumento en el deterioro de la calidad de los suelos, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) avanza en el proceso de implementación de la Política para la Gestión Sostenible del Suelo en Colombia (PGSS) (IDEAM, CAR y UDCA, 2017).

El Instituto de hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM describe la salinización como uno de los procesos responsables de la degradación de suelos. La cuarta línea estratégica de la política, delega en las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR´s), la responsabilidad de adelantar los procesos de monitoreo y seguimiento de la calidad de los suelos, que faciliten la toma de decisiones para su gestión sostenible (IDEAM, CAR y UDCA, 2017).

Atendiendo a la necesidad que tienen las CAR's para monitorear el estado de la degradación por salinización de los suelos en su jurisdicción, es necesario establecer sitios de muestreo que sean estadísticamente representativos respecto al área de estudio, localizados en unidades de suelo susceptibles a procesos de salinización, geográficamente accesibles y que se ajusten a los tiempos establecidos en los planes diarios de muestreo, los cuales dictan el número de muestras que deben ser tomadas por una comisión de campo en una jornada diaria, en los que se incluyen las actividades de desplazamiento hasta sitios de muestreo, la toma de la muestra y caracterización de la misma.

Debido a que los encargados de la elaboración de los planes de muestreo generalmente desconocen las condiciones geográficas y de accesibilidad de las zonas de toma de muestras, los técnicos de campo deben cumplir planes de muestreo que resultan imposibles de ejecutar en los tiempos establecidos, ya que factores como la distancia entre los puntos, los tiempos de desplazamiento y la pendiente del terreno, no se tienen en cuenta para determinar dichos sitios, ocasionando retrasos en la recolección y entrega de las muestras para su posterior análisis en laboratorio, así como en la ejecución del cronograma del proyecto, aumentando los costos que deben asumir las entidades ejecutoras de los proyectos. La fase de muestreo es importante dentro del monitoreo, porque es donde se captura la información primaria usada para modelar el fenómeno de degradación por salinización, y los costos asociados a esta fase son los más representativos.

Una posible solución a la situación descrita anteriormente, consistio en la elaboración de una extensión para una herramienta de Sistemas de Información Geográfica (SIG) existente, que permitiera la localización de sitios de muestreo mediante un método estandarizado que integre el diseño estadístico de muestreo aleatorio simple, con la evaluación de las variables físicas que afectan los tiempos de recolección de las muestras, esto con el fin de elaborar planes de muestreo acordes a la realidad geográfica de las zonas de estudio.

3. Justificación

El levantamiento de información en campo es una de las etapas más importantes para el monitoreo y seguimiento de la degradación de suelos por salinización. Ésta información debe ser representativa para el área de estudio por lo que su levantamiento requiere un análisis de distribución espacial, de condiciones geográficas y de grados de susceptibilidad. El análisis de estas variables garantiza que los resultados obtenidos se puedan extrapolar a las unidades de suelo con condiciones semejantes. El diseño muestral debe abarcar mínimo el 10% de la superficie total del área de trabajo y al menos el 50% de las unidades de suelo con mayor grado de susceptibilidad para que las modelaciones del comportamiento de la salinización en todas las unidades de suelo tengan validez estadística (IDEAM, CAR y UDCA, 2017).

Es difícil estimar con precisión los costos asociados a la fase de muestreo en los estudios de suelos, sin embargo se puede establecer que, cuando la información levantada en el muestreo constituye un entregable *per se*, el muestreo puede representar hasta el 70% del costo total del proyecto, motivo por el cual los sobrecostos asociados a una inadecuada planificación de la fase de campo, podrían determinar el éxito o fracaso del proyecto. En algunas ocasiones, las entidades contemplan la posibilidad de dar por terminada la fase de muestreo cuando esta supera el monto económico o el tiempo destinado para su ejecución, ignorando que esta práctica compromete considerablemente la calidad de las modelaciones que tienen como insumo los resultados de la fase de muestreo (Mora, 2017).

Un muestreo exitoso y representativo depende de la forma como se estructura el plan de muestreo, el cual permite determinar el tiempo que tomará el desarrollo de la fase de muestreo, correspondiente al número total de días dedicados a la recolección de información en campo, incluyendo las actividades desplazamiento hasta las sitios de muestreo, toma y preparación de la muestra y entrega para análisis de laboratorio, entre otras. Así pues, un plan de muestreo poco realista implicaría un retraso en el cronograma del proyecto, generando pérdidas económicas considerables si se tiene en cuenta la cantidad de recurso que demanda la ejecución del plan.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son rara vez empleados por los profesionales que se ven involucrados en la definición del plan de muestreo. Esto se debe, no a la falta de capacidades para el uso de las herramientas SIG, sino más bien a la cantidad de tiempo que se debe dedicar al análisis de las variables estadísticas y geográficas que se ven involucradas en la definición de los sitios de muestreo.

De acuerdo a lo anterior es necesario contar con una extensión para una herramienta SIG que genere sitios de muestreo a partir de la integración de las variables involucradas, permitiendo formular planes de muestreo más próximos a las características propias del terreno, para que dentro de los proyectos se destinen los tiempos adecuados a la fase de muestreo, y finalmente evitar los sobrecostos asociados al desarrollo de esta actividad de campo.

4. Alcance

4.1. Alcance técnico

La funcionalidad de la extensión para escritorio “QS4” genera sitios de muestreo de suelos susceptibles a salinización a partir del procesamiento de archivos vectoriales y ráster previamente cargados por el usuario al software QGIS. La generación del muestreo es resultado del procesamiento de las capas insumo y las capas intermedias generadas por los subprocesos que contempla el “core” de QS4. La funcionalidad de la extensión se desarrolló plenamente y cumple con su objeto.

4.2. Alcance espacial.

La extensión QS4 genera sitios de muestreo para suelos susceptibles a salinización, sin importar la extensión y localización espacial de las capas insumo ni del sistema de coordenadas en las que dichas capas se encuentren.

5. Objetivos

5.1. Objetivo General

Desarrollar e implementar una extensión para una herramienta de escritorio de Sistemas de Información Geográfica (SIG) libre, que permita la localización de sitios de muestreo en unidades de suelos susceptibles a presentar procesos de degradación por salinización.

5.2. Objetivos Específicos

- Identificar los requerimientos funcionales y no funcionales que debe satisfacer el desarrollo de la extensión.
- Definir una arquitectura de software capaz de dar respuesta a los requerimientos funcionales y no funcionales identificados en la fase de análisis.
- Implementar un algoritmo que integre variables estadísticas y físicas para la definición sitios de muestreo para suelos susceptibles a degradación por salinización

6. Estado del Arte

6.1. Antecedentes

Comúnmente se encuentran extensiones denominadas “herramientas de muestreo” para SIG de escritorio, que generan puntos aleatorios representando sitios de muestreo, que no involucran los criterios técnicos de las actividades de muestreo, por lo tanto el uso de estas herramientas puede comprometer la calidad de los resultados obtenidos, debido a que se desconoce el grado de representatividad de dichos puntos respecto al área total de estudio.

Existen distintos software SIG, que permiten la generación de los puntos aleatorios e incluyen las mismas variables (selección de polígono límite número de puntos), a continuación se detallan estas herramientas para dos de los SIG Desktop más comunes.

Para el caso de ArcMap, existen dos extensiones, la primera (create random points) genera puntos aleatorios dentro de un polígono límite. La segunda se encuentra dentro del menú “sampling tools”, previa descarga de la extensión Hawth's Tools, que permite la generación de redes regulares e irregulares de “puntos de muestreo”, dentro del polígono límite. En QGIS, la herramienta “random points” genera aleatoriamente “puntos de muestreo”, previa carga de la capa de polígono(s) límite y la selección del “tamaño de muestra” (cantidad de puntos).

Adicionalmente se encontró una propuesta metodológica que integra el procesamiento digital de imágenes con extensiones de software SIG Desktop para la ubicación de puntos de muestreo de suelo y material vegetal en zonas homogéneas de cobertura vegetal. Esta metodología propone generar mapas de pendientes en software SIG libre (gvSIG) mediante modelos digitales de elevación, además de la delimitación de áreas homogéneas de comunidades vegetales, mediante interpretación de imágenes Landsat 8, para determinar zonas homogéneas de suelos para muestreo de nutrientes (Radic, 2016).

Si bien la esta metodología es técnicamente válida desde el punto de vista del análisis de variables físicas, no especifica la forma en la que se incluye el componente estadístico en el muestreo, adicionalmente su uso complejiza la tarea de formular el plan de muestreo, puesto que comprende el uso avanzado de software para procesamiento digital de imágenes y software SIG, incrementando los tiempos de elaboración de los mismos, desde la obtención de los insumos hasta el procesamiento de estos

La revisión de antecedentes permite establecer que existen extensiones para software SIG libre y licenciado, orientadas a generar aleatoriamente “puntos de muestreo” que por sí solas no pueden ser usadas como insumo en la elaboración de planes de muestreo de recursos naturales. Adicionalmente, no existe en la actualidad una herramienta para software SIG que satisfaga la necesidad de definir sitios de muestreo de suelos bajo criterios técnicos.

6.2. Marco Teórico

Según la FAO (2000) la tierra es "un área delineable que reúne todos los atributos de la biósfera inmediatamente por encima o por debajo de la superficie terrestre, incluyendo el suelo, el terreno, la superficie hidrológica, el clima cerca de la superficie, los sedimentos y las reservas de agua asociadas, los recursos biológicos, así como los modelos de establecimientos humanos y la infraestructura resultante de las actividades humanas".

De acuerdo con la *Política para la gestión sostenible del suelo,* el suelo es un "componente fundamental del ambiente, natural y finito, constituido por minerales, aire, agua, materia orgánica, macro, meso y microorganismos que desempeñan procesos de tipo biótico y abiótico, cumpliendo funciones vitales para la sostenibilidad planetaria" (MADS, 2015).

La degradación del suelo "el resultado de la interacción de factores naturales y antrópicos que activan y desencadenan procesos que generan cambios negativos en las propiedades del suelo", y debido al crecimiento que ha presentado este fenómeno durante la última década, es de vital importancia adelantar acciones encaminadas a su monitoreo y seguimiento. Entre estas tareas destaca el muestreo como la más importante para el levantamiento de la línea base que permita tomar decisiones preventivas y correctivas a este respecto (MADS, 2015).

De este modo, el objetivo principal del muestreo de suelos, es obtener información acerca de las variables que intervienen en el proceso de salinización, a partir de la susceptibilidad y la zonificación elaboradas previamente (IDEAM, CAR y UDCA, 2017). Por otra parte, el muestreo aleatorio simple es la técnica de muestreo en la que todos los elementos que forman el universo y que están descritos en el marco muestral, tienen idéntica probabilidad de ser seleccionados. Sería algo así como hacer un sorteo justo entre los individuos del universo donde se le asigna a cada miembro un número, estos se depositan en una urna y se extraen al azar algunos números asignados. Todos los individuos que tengan un número extraído de la urna formarían la muestra (Mostacedo, 2000).

El muestreo tiene como finalidad determinar qué parte de una realidad en estudio (población o universo-N) debe examinarse con el propósito de hacer inferencias o generalizar conclusiones sobre el total de la población. Así, obtener una muestra adecuada significa lograr una versión simplificada de la población, la cual reproduce sus rasgos básicos. Para efectos de lograr un acercamiento al tamaño del universo (N), es pertinente referenciar algunas estadísticas sobre el total de hectáreas que integran cada área de trabajo, así como de su distribución según el grado de salinización (Sepúlveda, 2001).

7. Metodología

De acuerdo a lo expuesto hasta ahora, los procesos ágiles son los que mejor se ajustan al corto tiempo disponible con el que se desarrolló de la extensión, pues permitió al equipo de trabajo enfocarse en el software, simplificando procesos burocráticos y priorizando el desarrollo sobre la documentación, permitiendo la pronta entrega del software operativo, para su evaluación e incorporación de nuevos requerimientos (Sommerville, 2011).

Enmarcado en este proceso, se determinó el modelo incremental como el idóneo para el desarrollo de la extensión, ya que permitió la pronta retroalimentación tras cada implementación, integrando actividades de especificación, desarrollo y validación, y se trabajó sobre incrementos que proporcionaran subconjuntos de la funcionalidad del sistema, y no la solución total (Sommerville, 2011).

7.1. Análisis de Requerimientos

Esta fase fue el punto de partida para el desarrollo de la versión inicial de la extensión, se plantearon actividades a ejecutar a través del tiempo. La etapa es transversal al desarrollo del software. Se definieron los métodos más eficientes para la construcción de la extensión “QS4”, la herramienta fue desarrollada para el SIG libre y multiplataforma QGIS, éste permite crear y publicar nuevas extensiones a partir de una interfaz sencilla.

7.2. Diseño

Esta fase especifica la estructura global de la extensión y es base para el desarrollo de versiones intermedias, se definieron aspectos lógicos y físicos de la funcionalidad. A

partir de los requerimientos, se sintetizan las representaciones de los datos y la estructura del programa, características interfaz y detalles del procedimiento (Pressman, 2010).

7.3. Desarrollo

En esta fase se llevó a cabo una serie de pruebas unitarias que respondían a diferentes subprocesos que ejecuta la aplicación para la obtención del muestreo (incremento de software). Una vez aprobada la prueba unitaria, las sentencias se integran continua y gradualmente al código que contenía todos los subprocesos del muestreo.

7.4. Validación

En esta fase se determinó si la funcionalidad cumplió con los requerimientos identificados, se depura el código, se realiza la evaluación de usabilidad (detallada en el Anexo 1) y pruebas de rendimiento para obtener la versión final del desarrollo. Se evaluaron aspectos de efectividad, pertinencia del resultado, y grado de satisfacción, entre otros. La Figura 1 muestra las fases para la elaboración de la extensión, las cuales corresponden con las fases comunes del proceso de desarrollo de software.



Figura 1 Esquema metodológico para el desarrollo de la extensión QS4
Fuente: Elaboración propia.

8. Resultados

8.1. Fase de Análisis de requerimientos

La fase de levantamiento de requerimientos permitió identificar un caso de uso denominado Generar Muestreo (CU-QS4-01) el cual se describe a continuación.

Una vez el usuario ejecuta la extensión, debe seleccionar las capas límite área de estudio, vías, DEM, y susceptibilidad a salinización, y definir el nivel de confianza y margen de error de la muestra. Posteriormente el usuario hará clic sobre el botón generar muestreo, el cual mostrará en la pantalla del QGIS la capa vectorial tipo punto "Muestreo" con los sitios de muestreo idóneos para la toma de muestras de suelo susceptibles a procesos de salinización. La Figura 2 muestra el diagrama de caso de uso "Generar muestreo"

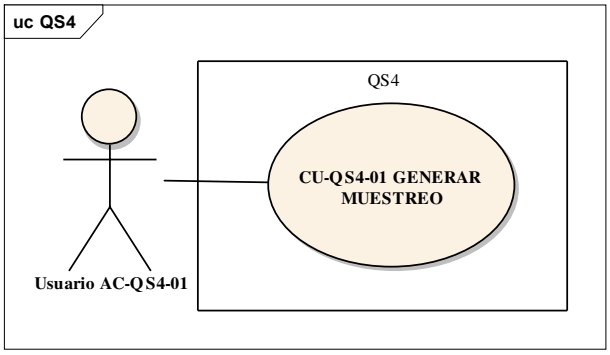


Figura 2. Diagrama de caso de uso
Fuente: Elaboración propia.

8.2. Fase de Diseño

A continuación se presentan el diagrama de clases, de secuencias, de componentes, de despliegue y vista de alto nivel.

8.2.1. Diagrama de clases

La Figura 3 muestra el diagrama de clases. Los objetos que interactúan en la herramienta corresponden a la GUI y la lógica de la extensión, los cuales obedecen a la serie de operaciones que denotan pasos visibles y no visibles de la estructura de QS4. Se requiere el límite del área de estudio, la capa de susceptibilidad, la capa de vías, el DEM, el nivel de confianza y el margen de error del muestreo. Los métodos asociados a cada clase

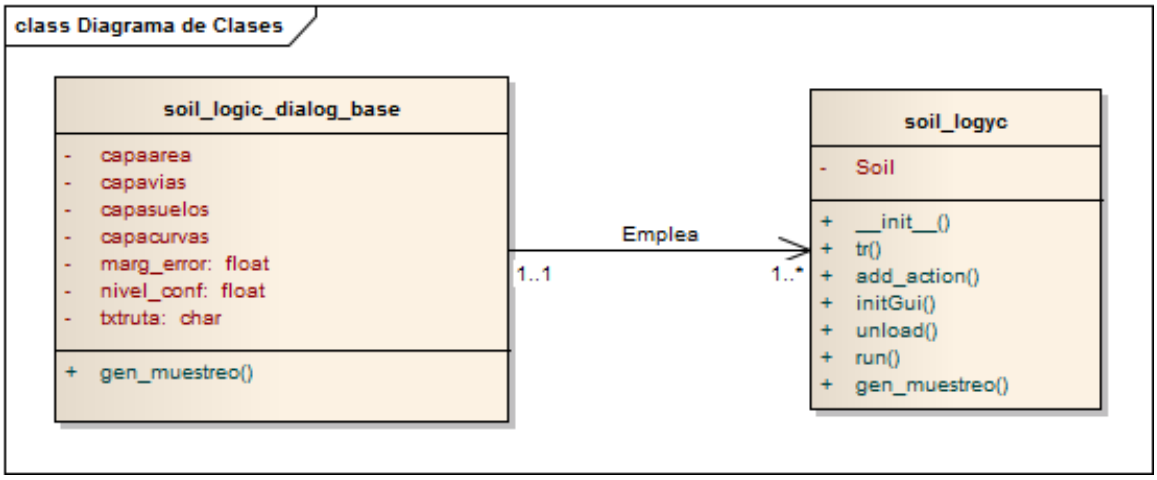


Figura 3. Diagrama de clases
Fuente: Elaboración propia.

8.2.2. Diagrama de secuencias

La Figura 4 muestra los mensajes y elementos que componen la funcionalidad de QS4, iniciando con un mensaje sincrónico donde el usuario da inicio a la ejecución de la interfaz, posteriormente se despliega un mensaje que constituyen los pasos donde el usuario debe diligenciar cada uno de los datos; seguidamente se generan entre las instancias de las QS4_soil_logic_dialog_base y soil_logyc una serie de mensajes

sincrónicos correspondientes a la orden de ejecución y retorno de procesos (el cual se hace visual con la barra de proceso).

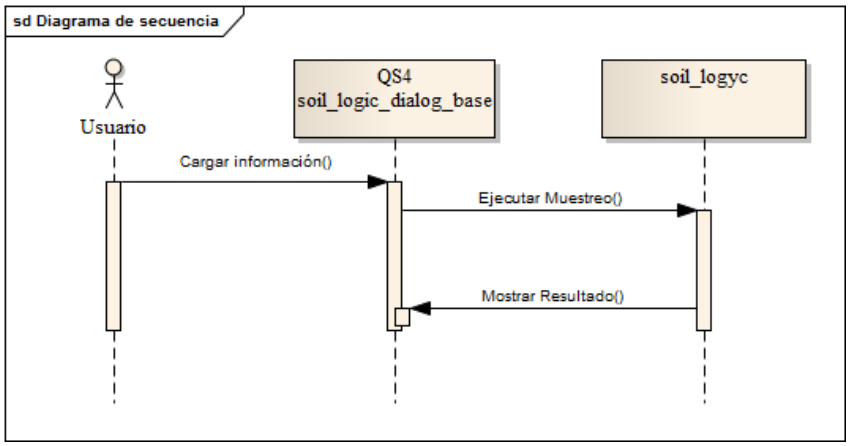


Figura 4. Diagrama de secuencias
Fuente: Elaboración propia.

8.2.3. Diagrama de componentes

La Figura 5 muestra que la extensión QS4 es el componente encargado de generar el muestreo de suelos, en el cual los procesos de carga, procesamiento y visualización de resultados se realizan dentro del mismo.

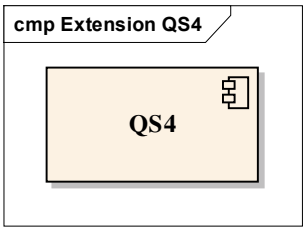


Figura 5. Diagrama de componentes
Fuente: Elaboración propia.

8.2.4. Diagrama de despliegue

El diagrama de despliegue (Figura 6) parte con el sistema multiplataforma que aloja el entorno de desarrollo, correspondiente al software QGIS, éste interactúa con la extensión QS4 a través del módulo de programación en lenguaje Python, que se ajusta a

las características de la interfaz. El artefacto que es la extensión en sí, podrá ser cargado desde la interfaz de QGIS a través de sus complementos. Para este caso, la vista de despliegue corresponde a un modelo de arquitectura monolítica.

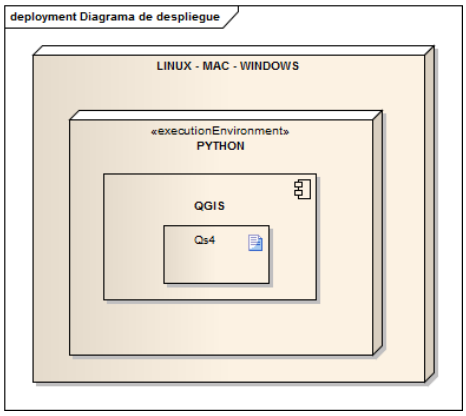


Figura 6. Diagrama de despliegue.
Fuente: Elaboración propia.

8.2.5. Diagrama de vista de alto nivel

El diagrama de alto nivel (Figura 7) muestra al usuario de manera concreta la arquitectura que compone el software. La extensión QS4 es una herramienta de tipo plugin, lo que quiere decir que interactúa con otra herramienta para aportarle una función nueva y específica. Esta aplicación adicional es ejecutada por la aplicación principal e interactúa por medio de la Interfaz Programada. La extensión QS4 se desarrolló sobre el software libre de escritorio QGIS, alojado a su vez en un sistema operativo.



Figura 7. Vista de alto nivel
Fuente: Elaboración propia.

8.3. Fase de desarrollo

En esta fase se definió la estructura global de la extensión y se programó su funcionalidad. La extensión se creó con el complemento "Plugin Builder" para QGIS, la funcionalidad, programada en lenguaje python 2.7, se desarrolló utilizando el IDE PyCharm, la interfaz gráfica de usuario (GUI) se elaboró con la herramienta Qt Designer.

8.3.1 Interfaz gráfica de Usuario – GUI

La GUI tiene elementos tipo ***comboBox*** para seleccionar las capas insumo de la generación del muestreo. Incluye elementos ***spin box*** para ingresar valores de nivel de confianza y margen de error. El elemento ***text edit*** permite al usuario establecer la ruta donde serán almacenados los archivos generados. El elemento ***push button*** "GENERAR MUESTREO" tiene asociado un evento tipo ***clicked*** que inicia la ejecución del método ***gen_muestreo***. La Figura 8 muestra la interfaz gráfica de usuario de la extensión QS4.

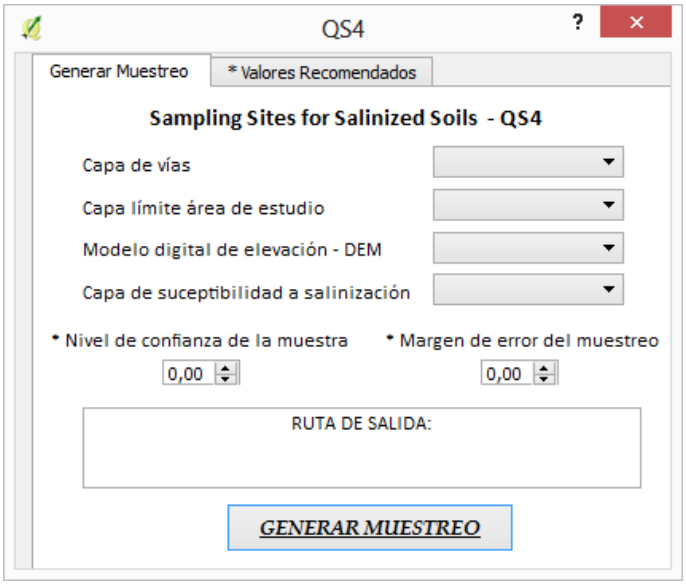


Figura 8. Interfaz gráfica de usuario - extensión QS
Fuente: Elaboración propia.

La GUI cuenta con un elemento ***TabWidget*** de dos pestañas. En la pestaña "Valores Recomendados" el usuario encuentra recomendaciones de valores de margen de error y nivel de confianza, asociados a un grado de significancia.

8.3.2 Funcionalidad

El "core" de la aplicación está asociado al método gen_muestreo(), éste tiene un flujo de trabajo secuencial a partir de las capas insumo generando consecutivamente productos intermedios que son insumos de procesos posteriores hasta la obtención de la capa de muestreo. La tabla de atributos del muestreo contiene el tiempo estimado en minutos y horas, ajustado por porcentaje de pendiente, que le tomaría a un auxiliar de campo caminar desde la vía más cercana hasta el sitio de muestreo.

Una vez iniciada la ejecución el método, se mostrarán en pantalla dos mensajes tipo "information". El primero (Figura 9a) indica al usuario si el área de estudio corresponde a

un población finta o infinita y el tamaño de muestra para dicha zona. El segundo (Figura 9b) informa que el muestreo se generó de exitosamente.

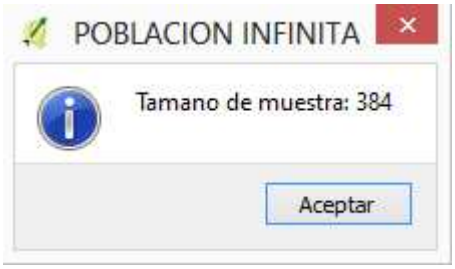


Figura 9a Mensajes ejecución tipo de población - plugin QS4



Figura 9b Mensajes ejecución - plugin QS4

La Figura 10 detalla el flujo general de los procesos que lleva a cabo el algoritmo, desde la selección de las capas insumo, hasta la generación de la capa de sitios de muestreo.

Adicionalmente se tuvo en cuenta la distancia de mínima autocorrelación espacial para la generación del muestreo, que debe ser de 1500 metros de acuerdo con el protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por salinización (IDEAM, CAR y UDCA, 2017).

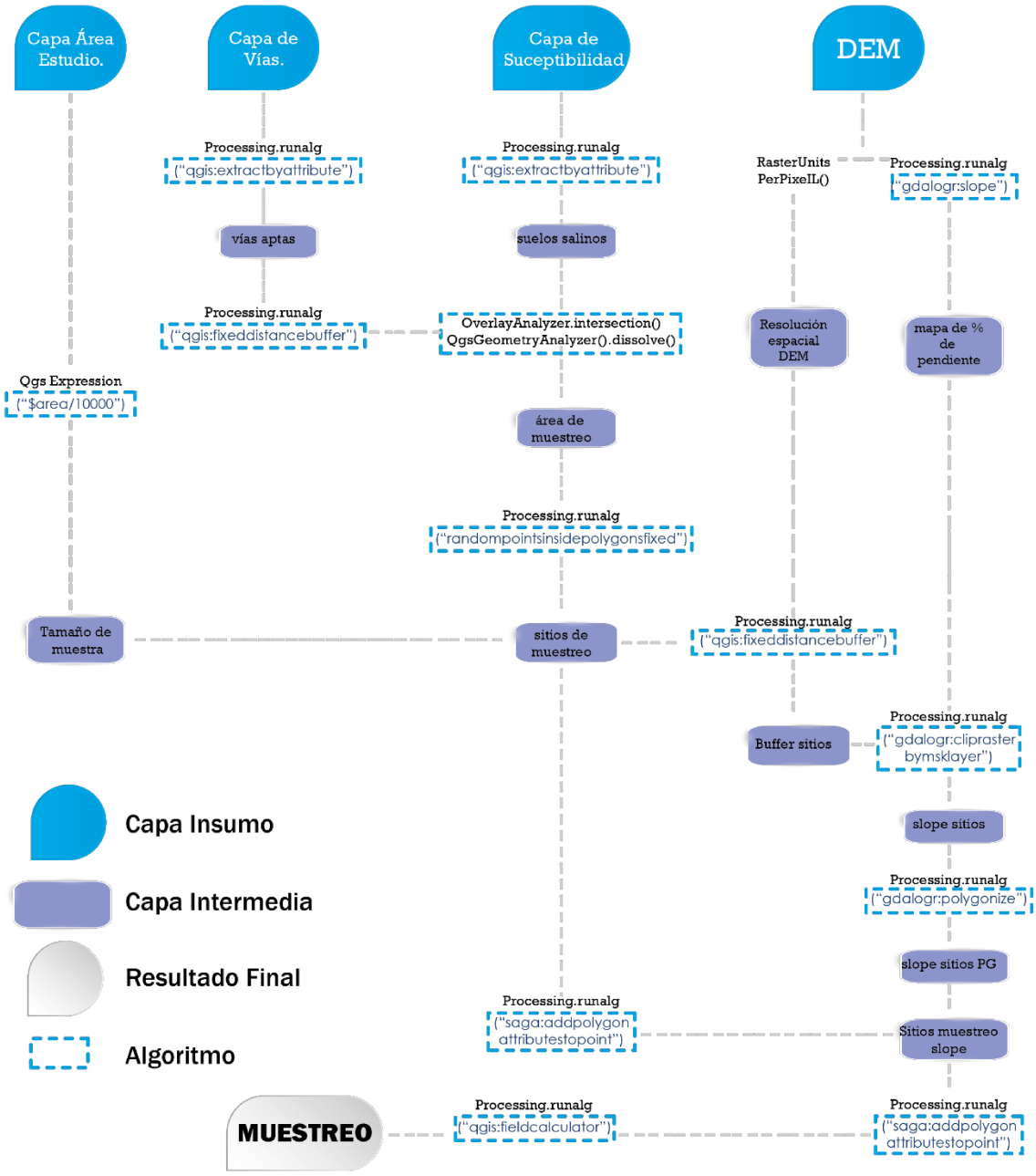


Figura 10. Flujo general del algoritmo - plugin QS4
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 11a y Figura 11b muestran la capa de sitios de muestreo generada y su la tabla de a tributos.

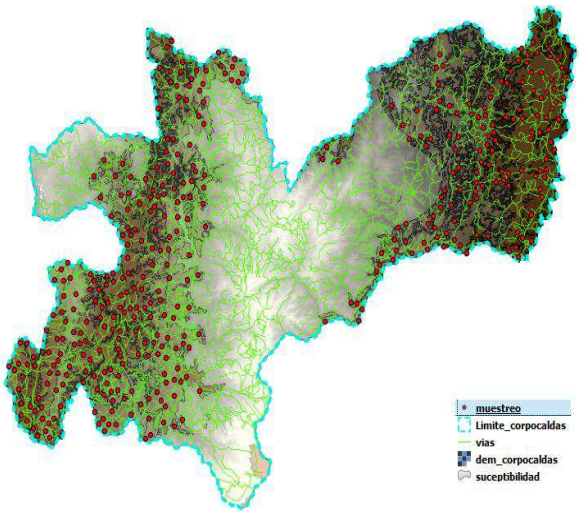
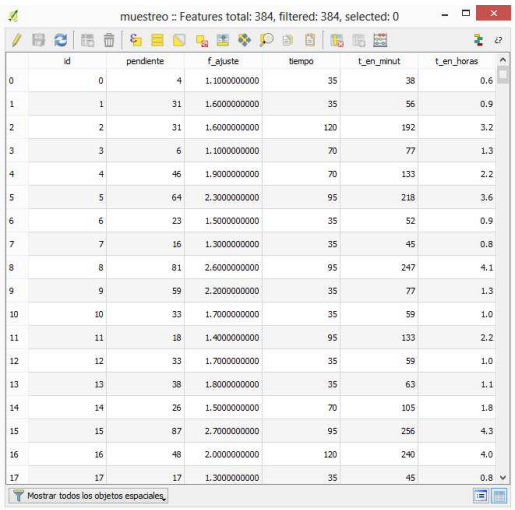


Figura 11a. muestreo generado
Fuente: Elaboración propia.



	id	pendiente	f_ajuste	tiempo	t_en_minut	t_en_horas
0	0	4	1.1000000000	35	38	0.6
1	1	31	1.6000000000	35	56	0.9
2	2	31	1.6000000000	120	192	3.2
3	3	6	1.1000000000	70	77	1.3
4	4	46	1.9000000000	70	133	2.2
5	5	64	2.3000000000	95	218	3.6
6	6	23	1.5000000000	35	52	0.9
7	7	16	1.3000000000	35	45	0.8
8	8	81	2.6000000000	95	247	4.1
9	9	59	2.2000000000	35	77	1.3
10	10	33	1.7000000000	35	59	1.0
11	11	18	1.4000000000	95	133	2.2
12	12	33	1.7000000000	35	59	1.0
13	13	38	1.8000000000	35	63	1.1
14	14	26	1.5000000000	70	105	1.8
15	15	87	2.7000000000	95	256	4.3
16	16	48	2.0000000000	120	240	4.0
17	17	17	1.3000000000	35	45	0.8

Figura 11b. tabla de atributos sitios de muestreo
Fuente: Elaboración propia.

8.4. Fase de validación

8.4.1 Evaluación de usabilidad

La usabilidad de la extensión se evaluó mediante la metodología mGQM detallada en el Anexo 1. La Tabla 1 muestra los resultados de la evaluación. El puntaje promedio las métricas subjetivas (4,08) fue más bajo bajos en comparación con las métricas objetivas (4,8). Aspectos relacionados con el tiempo de ejecución y el grado de satisfacción obtuvieron las puntuaciones más bajas, esto debido a que la ejecución del algoritmo varía dependiendo de las características del equipo y el tamaño del área de estudio. Estos aspectos serán abordados con más detalle en el apartado de las pruebas de rendimiento.

Los usuarios asignaron puntajes altos a las métricas objetivas, relacionadas con el "core" de la extensión y con condiciones ajenas al algoritmo que puedan comprometer la calidad del resultado. Esta puntuación sugiere que la extensión responde adecuadamente

a la necesidad de definir sitios de muestreo y que la calidad del resultado no depende de factores como el sistema de referencia de las capas insumo o la resolución espacial DEM.

Métricas Subjetivas						**Métricas Objetivas**					
Usuario	U1	U2	U3	U4	U5	Usuario	U1	U2	U3	U4	U5
S1	4	5	4	3	5	O1	5	5	5	5	5
S2	4	5	5	5	4	O2	5	5	4	5	4
S3	3	4	3	3	4	O3	5	5	5	5	4
S4	5	5	4	4	5	O4	5	5	5	4	4
S5	3	4	3	3	4	O5	5	5	5	5	5
total por usuario	3,8	4,6	3,8	3,6	4,4	total por usuario	5	5	4,8	4,8	4,4
Promedio usabilidad subjetiva	4,04					**Promedio usabilidad objetiva**	4,8				

Tabla 1. Resultados evaluación de métricas objetivas y subjetivas
Fuente: Elaboración propia

La Tabla 2 muestra el puntaje final de la evaluación de usabilidad de la extensión que es de 4,28. De acuerdo con la metodología, la extensión tiene un alto grado de usabilidad.

Usuario	**Usabilidad**
U1	4,34
U2	4,78
U3	4,25
U4	4,14
U5	4,4
Promedio	4,382

Tabla 2. Resultado evaluación usabilidad - extensión QS4
Fuente: Elaboración propia

8.4.2 Pruebas de rendimiento (tiempo de ejecución)

Las pruebas ejecutadas en la fase de desarrollo dejaron ver que el tiempo de ejecución del algoritmo es relativamente alto (10 minutos aproximadamente) motivo por el cual fue necesaria la ejecución de la extensión en diferentes equipos de cómputo y para distintos tamaños de área, esto con el fin de establecer requerimientos de hardware y software que garanticen agilidad en la ejecución.

La Tabla 3 muestra los equipos (y sus características) donde se ejecutaron las pruebas.

Equipo	Especificaciones técnicas			
	Sistema operativo	Procesador	Memoria RAM	Disco duro
PC-1	Windows 7	2.7 Ghz core i3	16 GB	128 GB HDD
PC-2	Windows 7	1.8 Ghz Intel Celeron 1037	6 GB	750 GB
PC-3	Windows 8	3.0 Ghz AMD Athlom II x 2	4 GB	1 TB
PC-4	Windows 10	3.6 Ghz Intel core i7	16 GB	2 TB HDD
PC-5	Mac OSX Sierra	2.7 Ghz Intel core i5	8GB	128 GB SSD

Tabla 3. Equipos utilizados en las pruebas de rendimiento
Fuente: Elaboración propia

En cada equipo se realizaron tres pruebas de rendimiento, registrando el tiempo de ejecución. Se usaron diferentes capa insumo de área de estudio manteniendo constantes los parámetros de nivel de confianza y margen de error (1,96 y 0,02 respectivamente).

La Figura 12 muestra el resultado de las pruebas de rendimiento para población finta. Se observa que en los equipos PC-4 y PC-5 el algoritmo se ejecutó de forma más eficiente. El equipo PC-3 mostró el menor rendimiento, tomando el doble de tiempo para la ejecución del algoritmo en comparación con los equipos más eficientes.

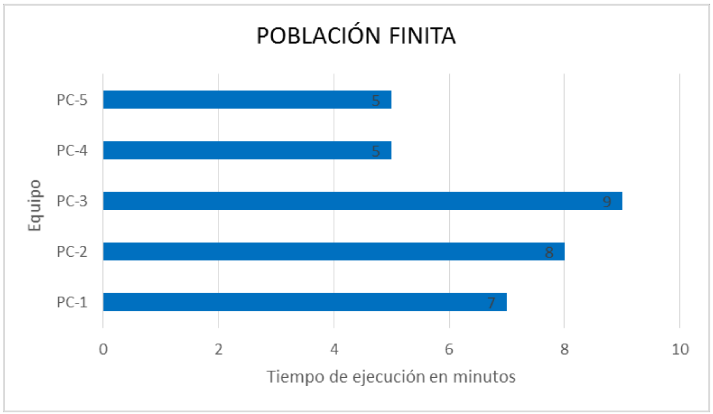


Figura 12. Resultado pruebas de rendimiento – población finita
Fuente: Elaboración propia

La Figura 13 muestra el resultado de las pruebas de rendimiento para población infinita menor a un millón de hectáreas. Los quipos mostraron un rendimiento similar al de la prueba anterior, el equipo PC-5 mostró el mejor desempeño. Nuevamente el equipo PC-3 tomó más tiempo para la ejecución del algoritmo. Los equipos PC-1 y PC-2 muestran un rendimiento promedio.

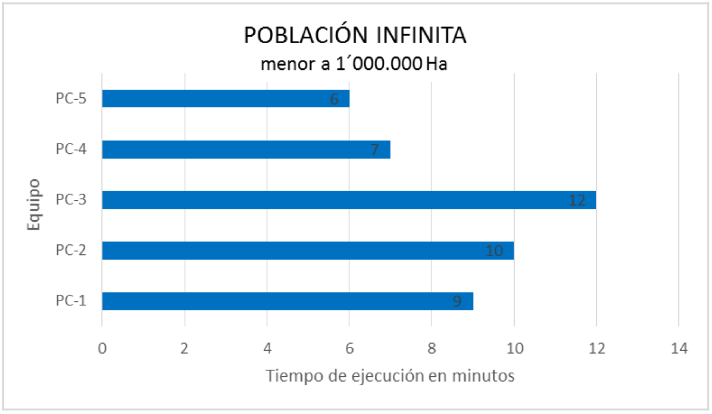


Figura 13. Resultado pruebas de rendimiento – población infinita
Fuente: Elaboración propia

El resultado de la última prueba se aprecia en la Figura 14. Una vez más Los equipos PC-4 y PC-5 mostraron los menores tiempos de ejecución. Nuevamente el equipo PC-3 tomó el doble de tiempo en comparación con los equipos antes mencionados.

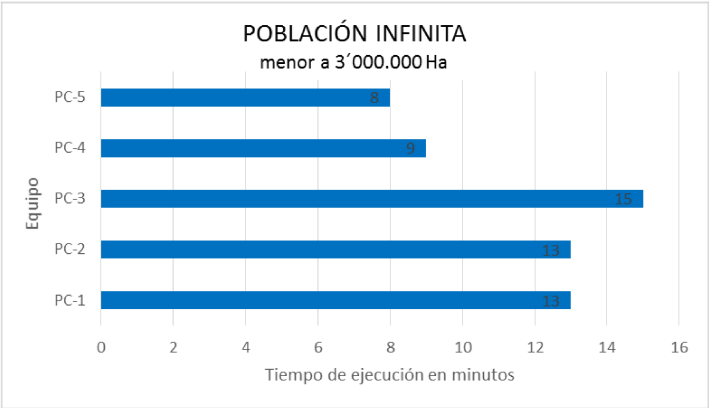


Figura 14. Resultado pruebas de rendimiento – población infinita
Fuente: Elaboración propia

Las pruebas de rendimiento permitieron establecer que el tiempo promedio ejecución del algoritmo es proporcional al tamaño del área de estudio. Adicionalmente se observa que la velocidad de ejecución de la extensión se ve influenciada por la tecnología del procesador. Si bien el hardware equipo PC-4 es más "robusto" que el del PC-5, la tecnología de disco duro de estado sólido de éste último podría explicar la agilidad con la que se ejecutó cada prueba, pues la lógica de la extensión almacena "físicamente" la información generada en la ubicación que el usuario indique e "invoca" esta información para procesarla y generar el resultado final.

9. Conclusiones

La metodología propuesta para el desarrollo de la extensión permitió el cumplimiento de los objetivos trazados. La adecuada identificación y análisis de requerimientos, y la claridad conceptual en la fase de diseño, son determinantes para la implementación de procesos ágiles y métodos incrementales en la fase de diseño que permiten la generación de un producto capaz de dar respuesta de forma eficaz a las necesidades del usuario.

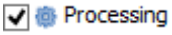
Los sitios de muestreo generados son óptimos y representativos para las áreas de estudio, pues cumplen con los requisitos de localizarse sobre suelos que presentan algún grado de susceptibilidad, situarse en zonas de alta y media accesibilidad vial, e involucrar el parámetro de distancia mínima, a partir de las fuentes secundarias consultadas.

La evaluación de usabilidad determina que la extensión QS4 tiene un alto grado de usabilidad. Los usuarios manifestaron que la extensión genera adecuadamente sitios para muestreo de suelos susceptibles a salinización sin que la calidad del resultado se vea afectada por aspectos ajenos al algoritmo, como el sistema de proyección de las capas insumo o la resolución espacial del modelo digital de elevación, sin embargo el tiempo de ejecución del mismo se ve afectado por factores como el tamaño del área de estudio y la capacidad de computo del equipo donde se ejecute la herramienta, generando inconformidades en los usuarios. Tales inconformidades se ven reflejadas en la puntación de las métricas subjetivas que se relacionan con este aspecto de la usabilidad.

10. Recomendaciones

La calidad del muestreo generado depende enteramente de la calidad y la oficialidad de las capas insumo, debido a que la lógica de la extensión utiliza información atributiva generada por entidades oficiales (IGAC, IDEAM, NASA, CAR´s) que emplean protocolos para la categorización de la información temática.

De no contar con información proveniente de fuentes oficiales, es recomendable categorizar las capas temáticas de acuerdo a los estándares manejados por las entidades generadoras de información geográfica.

Antes de la ejecución de la extensión QS4, es necesario la activación de la extensión processing (en el menú de  complementos el cual viene instalado con el software), debido a que el programa desarrollado hace uso de algoritmos del framework processing de QGIS.

La agilidad en la ejecución de la extensión está relacionada en gran medida con el hardware del equipo de cómputo donde se genere el muestreo. Teniendo en cuenta las pruebas de rendimiento, es deseable que el equipo cuente con un procesador de tercera generación en adelante, al menos 4 GB de memora RAM y disco duro de estado sólido.

Se recomienda eliminar todos los archivos intermedios almacenados en la ubicación que el usuario determine, una vez se haya generado la capa de muestreo. Esto debido a que el algoritmo genera 118 archivos que ocupan un tamaño en disco de 64 MB.

11. Referencias

FAO. (2000). Evaluación de la degradación de las tierras en zonas áridas. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Hussain, A. (2014). mGQM: Evaluation Metric for Mobile and Human Interaction. Communications in Computer and Information Science - CCIS, 434.

IDEAM, CAR y UDCA. (2017). Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por salinización. Bogotá D.C.: IDEAM.

MADS. (2015). Política para la gestión sostenible del suelo. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible.

Mora, R. A. (25 de 06 de 2017). Ingeniero ambiental, candidato a M.Sc en gerencia de proyectos. (G. Chaparro, Entrevistador)

Mostacedo, B. (2000). Manual de métodos Básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

Pressman, R. S. (2010). *Ingeniería Del Software. Un enfoque práctico*. (McGraw-Hill interamericana, Ed.), *Ingeniería del Software. Un enfoque práctico* (Septima Ed).

Radic, S. (2016). Use of remote sensing and GIS in the selection of soil sampling sites. AGROSur, 65-76.

Sepúlveda, B. (2001). Métodos de optimización de muestreo en los estudios de las propiedades del suelo. Edafología, Revista de la Sociedad Española de Ciencia del Suelo, 51-59.

Sommerville, I. (2011). Ingeniería de software (9 ed.). PEARSON.