

Dpto. IO

**Instituto de Computación
Facultad de Ingeniería
Universidad de la República**



IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN DE MUESTREO PARA AGRICULTURA EN UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO

Informe de Proyecto de Grado presentado al Tribunal Evaluador como
requisito de graduación de la carrera Ingeniería en Computación

Montevideo, Uruguay, Setiembre de 2013.

Autores:

Nicolás Oliveri Zitto
Gonzalo Parente Gadea
Martin Varela Sosa Dias

Supervisor:

MSc. Ing. Omar Viera

Responsable:

MSc. Mercedes Berterretche

Agradecimientos

Los miembros de este equipo queremos agradecer:

A nuestras familias, que nos brindaron su apoyo y confianza a lo largo de nuestra carrera universitaria.

A nuestros amigos, compañeros de estudio y a todos aquellos que brindaron su apoyo y colaboración durante todos estos años.

A nuestros tutores, Mercedes y Omar, por los conocimientos y materiales compartidos, además de sus experiencias transmitidas.

Resumen

En el contexto de la producción agrícola, es importante la incorporación de nuevas tecnologías que contribuyan a reducir los costos, mediante el uso eficiente de los insumos, logrando de esta manera incrementar la productividad y minimizar el impacto ambiental. Una de las actividades realizadas es la toma de muestras de suelo a fin de estudiar su naturaleza y propiedades, de manera de tener la mayor información posible para definir las más adecuadas prácticas de manejo a realizar. En este sentido existen estudios que mencionan los factores que afectan la homogeneidad de los suelos basados en datos históricos. Sin embargo, la decisión a tomar al momento de realizar el diseño de muestreo (tanto en la cantidad como en la ubicación de las muestras), se basa fundamentalmente en la experiencia personal del técnico responsable. Ante esta situación surge la motivación del proyecto, de modo de dar una solución que caracterice la variabilidad temporal y espacial de la productividad de los sucesivos cultivos, basado en imágenes de productividad (índices de vegetación, medidas de textura, etc.) y/o mapas de rendimiento provenientes de monitores de cosecha, determinando el número y la localización óptima para el muestreo. Esta solución consiste en la realización de diferentes etapas consecutivas para llegar a uno o más diseños de muestreo óptimos. Las etapas se dividen en: caracterización de la variabilidad temporal basada en el estudio de Blackmore, lectura y generación de muestreo basada en variabilidad espacial y optimización del muestreo creado mediante la implementación del algoritmo Spatial Simulated Annealing (SSA). Para eso se analizaron los requerimientos, luego se elaboraron el diseño y la arquitectura de la solución, y se culminó con la implementación y verificación de una herramienta desarrollada en lenguaje C# donde cada etapa forma parte de un módulo y está acoplada al sistema de información geográfica ArcGIS. En cuanto a los resultados del trabajo realizado por el grupo, podemos concluir que se lograron los objetivos propuestos, obteniendo un producto final extensible diseñado con una arquitectura modular, que permite obtener un diseño óptimo de muestreo tras la ejecución de las diferentes etapas.

Palabras claves: Optimización, Spatial Simulated Annealing, muestreo de suelo, variabilidad temporal y espacial, sistema de información geográfica, agricultura de precisión.

Abstract

In the context of agricultural production, the incorporation of new technologies that reduce costs by means of efficient use of resources is of great importance, achieving an increase in productivity and minimizing environmental impact. One of the activities performed is soil sampling in order to study its properties, obtaining the information needed to define the best practices to apply in the process. There are studies that describe the different factors that affect soil homogeneity based on historical data. However, when it comes to the sampling design (on both the quantity and the location of the sampling), the decision is mostly based on the technician's personal experience. Given this fact, this project gains importance because it aims to highlight the spatial and temporal variability of crop productivity (based on productivity images like vegetation indexes, texture measurements, etc and/or performance maps obtained from crop monitors) and determine the optimal number and location for the sampling. This solution consists of the implementation of different phases that result in one or more optimal sampling designs. These phases are divided in three modules: characterization of temporal variability based on Blackmore's study, creation of sampling design and optimization of the result using the Spatial Simulated Annealing algorithm. In order to achieve this goal, first the requirements were analyzed, then the solution was designed and finally a tool developed in C# and integrated to the geographic information system ArcGIS was implemented and tested. As for the results, we can conclude that the objectives proposed were achieved, obtaining an extensible product designed using a modular architecture, which generates an optimal sampling design by executing the various phases.

Keywords: Optimization, Spatial Simulated Annealing, soil sampling, spatial and temporal variability, geographic information system, precision agriculture.

Contenido

INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. CONTEXTO.....	8
1.2. MOTIVACIÓN	8
1.3. OBJETIVOS.....	9
1.4. RESULTADOS ESPERADOS	10
1.5. ESTRUCTURA DEL INFORME	10
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	12
2.1. DEFINICIÓN.....	12
2.2. REQUERIMIENTOS	12
2.2.1. <i>Requerimientos de datos</i>	13
2.2.2. <i>Otros Requerimientos</i>	13
2.2.3. <i>Evolución de los requerimientos</i>	14
MARCO TEÓRICO	15
3.1. AGRICULTURA DE PRECISIÓN	15
3.2. VARIABILIDAD.....	16
3.2.1. <i>Relación entre la variabilidad espacial y temporal</i>	17
3.3. OPTIMIZACIÓN	19
3.3.1. <i>Definición</i>	19
3.3.2. <i>Ubicación-Asignación (Location-Allocation)</i>	19
3.3.3. <i>Spatial Simulated Annealing</i>	19
3.4. MUESTREO.....	21
3.4.1. <i>Muestreo discreto</i>	21
3.4.2. <i>Muestreo en grillas</i>	21
3.4.3. <i>Muestreo por juzgamiento</i>	22
3.4.4. <i>Muestreo adaptativo</i>	22
3.4.5. <i>Muestreo dirigido</i>	23
3.5. GEOESTADÍSTICA	24
3.5.1. <i>Origen y Definición</i>	24
3.5.2. <i>Aplicación en la agricultura</i>	24
3.5.3. <i>Etapas de geoestadística</i>	25
3.5.4. <i>Predicción Espacial</i>	25
3.5.4.1. <i>Kriging Ordinario</i>	26
3.5.4.2. <i>Kriging Simple</i>	26
SOLUCIÓN AL PROBLEMA.....	28
4.1. AMBIENTE Y PLATAFORMA DE DESARROLLO	28
4.2. FUNCIONALIDADES	29
4.2.1. <i>Caracterización de la variabilidad espacio-temporal</i>	29
4.2.2. <i>Generación de un diseño de muestreo óptimo</i>	30
4.2.2.1. <i>Diseño de muestreo</i>	30
4.2.2.2. <i>Optimización de muestreo</i>	31
4.2.2.2.1. <i>IDW como método de interpolación</i>	32
4.2.2.2.2. <i>MAPE como medida de error</i>	34
4.2.2.2.3. <i>Número de muestras inicial</i>	34

4.2.2.2.4.	Reducción del número de muestras.....	35
4.2.2.2.5.	Calibración.....	36
4.2.2.2.6.	Resumen.....	37
SOLUCIÓN INFORMÁTICA.....		38
5.1.	REQUERIMIENTOS	38
5.1.1.	<i>Requerimientos Funcionales.....</i>	38
5.1.2.	<i>Requerimientos No Funcionales.....</i>	39
5.1.3.	<i>Casos de Uso.....</i>	40
5.1.3.1.	Caracterización de la variabilidad temporal.....	40
5.1.3.2.	Diseño de muestreo	42
5.1.3.3.	Optimizar muestreo	43
5.1.4.	<i>Modelo de Dominio</i>	44
5.1.4.1.	Restricciones del Modelo de Dominio.....	45
5.2.	DISEÑO Y ARQUITECTURA	46
5.2.1.	<i>Diseño de casos de uso.....</i>	46
5.2.1.1.	Diagrama de Casos de Uso relevantes a la Arquitectura.....	46
5.2.1.2.	Caracterización de la variabilidad temporal.....	47
5.2.1.3.	Diseño de muestreo	48
5.2.1.4.	Optimizar muestreo	49
5.2.2.	<i>Diseño de objetos</i>	49
5.2.2.1.	Sistema	50
5.2.2.2.	Módulo 1	51
5.2.2.3.	Módulo 2	52
5.2.2.4.	Módulo 3	53
5.2.3.	<i>Interfaz de usuario.....</i>	54
5.2.4.	<i>Trazabilidad desde el Modelo de Casos de Uso al Modelo de Diseño</i>	56
5.2.4.1.	Caracterización de la variabilidad temporal.....	56
5.2.4.2.	Diseño de Muestreo	56
5.2.4.3.	Optimización de Muestreo.....	57
5.2.5.	<i>Vista del Modelo de Diseño.....</i>	57
5.2.5.1.	Descomposición en subsistemas.....	57
5.3.	IMPLEMENTACIÓN.....	58
5.3.1.	<i>Archivo ZF.....</i>	58
5.3.2.	<i>Archivo resumen de ejecución</i>	59
5.3.3.	<i>Ambiente de desarrollo.....</i>	60
IMPLANTACIÓN Y PRUEBAS		61
6.1.	IMPLANTACIÓN	61
6.1.1.	<i>Responsabilidades</i>	61
6.1.2.	<i>Consideraciones especiales</i>	61
6.1.3.	<i>Planificación</i>	62
6.1.4.	<i>Recursos</i>	62
6.1.4.1.	Hardware	62
6.1.4.2.	Software	63
6.1.5.	<i>Unidad liberada.....</i>	63
6.2.	PRUEBAS.....	63
6.2.1.	<i>Propósito y Alcance.....</i>	63
6.2.2.	<i>Gestión de Incidentes.....</i>	64
6.2.2.1.	Niveles de gravedad de incidentes.....	64

6.2.2.2.	Procedimiento de reporte de incidentes	65
6.2.3.	<i>Diseño de casos de prueba</i>	66
6.2.4.	<i>Resultados</i>	67
6.2.4.1.	Pruebas unitarias.....	67
6.2.4.2.	Pruebas de volumen.....	67
6.2.4.3.	Pruebas de Instalación	69
6.2.4.4.	Pruebas del Sistema.....	70
6.2.4.5.	Evaluación final del Sistema	71
CONCLUSIONES.....		72
TRABAJOS A FUTURO.....		74
8.1.	FUNCIONALIDAD NO IMPLEMENTADA	74
8.2.	CARACTERÍSTICAS ADICIONALES	74
8.2.1.	<i>Algoritmo de optimización</i>	74
8.2.2.	<i>Considerar anisotropía</i>	74
8.2.3.	<i>Error en la estimación</i>	75
ANEXOS Y REFERENCIAS.....		76
9.1.	DIAGRAMA DE GANTT	76
9.1.1.	<i>Fase inicial</i>	77
9.1.2.	<i>Fase de elaboración</i>	77
9.1.3.	<i>Fase de construcción</i>	77
9.1.4.	<i>Fase de transición</i>	77
9.2.	DOCUMENTO ANEXO.....	78
9.3.	REFERENCIAS.....	78

Capítulo 1

Introducción

1.1. Contexto

El presente trabajo es parte del proyecto de grado de la carrera Ingeniería en Computación de la Facultad de Ingeniería, perteneciente a la Universidad de la República (UdelaR). Su objetivo académico es servir como síntesis de conocimientos adquiridos en la carrera, ejecutando una actividad creadora en Ingeniería en Computación. Para cumplir con el objetivo propuesto, fue necesario desarrollar un software que satisfaga las necesidades planteadas por el cliente, en base a su experiencia y la investigación realizada por el equipo en el área de la agricultura.

El principal interés del cliente es contar con una herramienta informática de optimización de muestreo, que caracterice la variabilidad temporal de la productividad de los sucesivos cultivos (basado en imágenes de productividad y/o mapas de rendimiento provenientes de monitores de cosecha) y determine el número y localizaciones óptimas de muestras, con el objetivo de reducir los costos asociados al estudio de las propiedades del suelo.

1.2. Motivación

Luego de analizar la propuesta de proyecto, identificamos varios factores que motivaron la realización del mismo. En primer lugar, el proyecto está dentro del contexto de la producción agrícola, siendo ésta una de las actividades claves del Uruguay productivo. Por tal motivo, el implementar un producto que sea de utilidad para esta área puede consecuentemente facilitar que el producto creado trascienda el proyecto, abriendo nuevas oportunidades a futuro a los integrantes del equipo.

Por otro lado, la innovación mediante tecnologías de información en el sector agrícola en nuestro país, es un área que no se ha desarrollado al mismo nivel que en otros países agrícolas de la región. Por tal motivo, creemos que la realización de un proyecto de esta envergadura puede ser un aliciente para nuevas investigaciones y desarrollos en el área, con el fin de mejorar los costos del

proceso de producción, el cuidado ambiental y la administración eficiente de los recursos naturales.

Como síntesis de conocimientos adquiridos en la carrera, ejecutar una actividad creadora en Ingeniería en Computación, que permita maximizar los recursos disponibles (imágenes satelitales, mapas históricos, etc.) para la construcción de una solución óptima al problema planteado, sin necesidad de incurrir en gastos extras por parte del productor.

1.3. Objetivos

El principal objetivo del proyecto es desarrollar una herramienta informática de optimización de muestreo, que caracterice la variabilidad temporal y espacial, definiendo el número y localizaciones óptimas de muestras.

Objetivo general:

La herramienta implementada deberá ser una extensión del sistema de información geográfico ArcGIS [19], integrable con ArcMap [19] 10.0 - 10.1, que brinde las funcionalidades requeridas por el cliente.

Objetivos específicos:

- Identificar el modelo de proceso de desarrollo que mejor se adapte a las características del proyecto.
- Investigar y documentar el marco teórico necesario de las aéreas vinculadas a los objetivos del proyecto.
- Releva las necesidades del cliente mediante la especificación de los requerimientos, definiendo así un alcance que se adecue a la envergadura de un proyecto de grado.
- Implementar la herramienta de optimización de muestreo de campo, cumpliendo los estándares de calidad¹ definidos al inicio del proyecto.
- Realizar un informe final que transmita el trabajo realizado a lo largo del proyecto.

¹ Anexo: Sección 9.1

1.4. *Resultados esperados*

Como resultado general se espera construir una herramienta informática de optimización de muestreo, que caracterice la variabilidad temporal y espacial, definiendo el número y localizaciones óptimas de muestras.

Comprender mediante las investigaciones realizadas, las prácticas y metodologías empleadas en el ámbito agropecuario, aplicándolas en nuestro proyecto para alinearnos a las expectativas del cliente.

Aplicar satisfactoriamente nuestros conocimientos de ingeniería de software, integrándolos con conocimientos de programación, arquitectura y diseño de sistemas.

Cumplir con el alcance establecido, satisfaciendo las necesidades del cliente, mediante una implementación que cumpla con los estándares de calidad definidos para el proyecto de grado.

Transmitir en el informe final, el problema planteado al inicio del proyecto, las investigaciones efectuadas para lograr su desarrollo, las decisiones adoptadas para realizar la solución informática y las conclusiones del trabajo.

Servir como aliciente para nuevas investigaciones y desarrollos tecnológicos en el área agrícola.

Concluir el trabajo logrando satisfacer las expectativas de todos los participantes, evaluando los puntos positivos y negativos del proyecto realizando una autocrítica en estos últimos.

1.5. *Estructura del informe*

El informe está organizado en capítulos y dentro de éstos, en secciones y subsecciones. A continuación se brinda un breve detalle del contenido de cada capítulo.

El Capítulo 1 consiste básicamente en una introducción que contextualiza el proyecto en el marco de su realización, se presentan las motivaciones, se clarifican los objetivos y se plantean los resultados esperados. Además se describe la organización general del documento.

El Capítulo 2 define el problema abordado en el proyecto, se plantean las necesidades en el área agrícola que motivan su realización, cuál es el problema planteado por el cliente, y se mencionan las características y funcionalidades claves que deberá tener el producto a desarrollar.

El Capítulo 3 presenta el marco teórico, que incluye los conceptos necesarios para entender aspectos claves que fueron tenidos en cuenta para la realización del proyecto. Los principales temas abordados son, agricultura de precisión, algoritmos de optimización, tipos de muestreo de suelos, utilización de geoestadística en la agricultura y sus conceptos relevantes.

El Capítulo 4 presenta la solución al problema planteado, considerando la investigación realizada por el grupo sobre los conceptos abordados en éste. Se describe el ambiente y plataforma de desarrollo utilizada. Además se presentan las distintas funcionalidades implementadas, explicando su funcionamiento y las decisiones tomadas en cada caso.

El Capítulo 5 describe la solución informática implementada. Detalla los requerimientos funcionales y no funcionales que están dentro del alcance del proyecto, y describe los casos de uso elaborados y el modelo de dominio del sistema. Además incluye los aspectos principales de la arquitectura y diseño del sistema. Por último menciona el ambiente de desarrollo utilizado.

El Capítulo 6 abarca las actividades planificadas en la implantación, los recursos necesarios, y cómo fue realizada la puesta en producción. Además se incluyen las tareas llevadas a cabo en el testing del producto, plan de verificación, gestión de incidentes, diseños de casos de prueba y sus resultados.

El Capítulo 7 expone las conclusiones del proyecto. Se mencionan los logros alcanzados y las lecciones aprendidas luego de su realización.

El Capítulo 8 describe los trabajos a futuro diferenciados en dos partes, por un lado funcionalidades del producto que, dado el alcance del proyecto de grado, como las prioridades del cliente, no fueron implementados y por otro, mencionar algunas características que pueden potenciar la herramienta.

El Capítulo 9 contiene una descripción del proyecto en el tiempo así como también de cada una de las fases del mismo. Se hace referencia al documento Anexo, adjunto al presente informe que contiene todos los documentos realizados durante el proceso de desarrollo. Por último se describen las referencias del proyecto.

Capítulo 2

Definición del problema

Se define el problema abordado en el proyecto, se plantean las necesidades en el área agrícola que motivan su realización, cuál es el problema planteado por el cliente, y se mencionan las características y funcionalidades claves que deberá tener el producto a desarrollar.

2.1. *Definición*

La fertilidad de los suelos agrícolas cambia constantemente. El nivel de nutrientes del suelo varía como consecuencia de la utilización de los mismos por los cultivos, la erosión, la aplicación de fertilizantes o incluso de su propia naturaleza. Mediante el análisis de suelos se conocen los niveles de fertilidad y se provee la información necesaria para mantener las condiciones óptimas de fertilidad. En la agricultura de precisión se realizan manejos por sitio específico, por lo que la variabilidad de los suelos en pequeñas escalas es un factor clave a tener en cuenta.

El muestreo de suelos tiene como uno de sus principales objetivos obtener una recomendación precisa de fertilización, a partir del análisis de un conjunto de muestras que representen con la mayor precisión posible los valores y variabilidad de la zona donde fueron tomadas. Si se logra diseñar un muestreo que caracterice la heterogeneidad del campo, se generará un conjunto de datos fiables que permiten ser analizados. El objetivo del análisis es brindar al técnico y al productor información útil a tener en cuenta al momento de definir una administración eficiente de insumos con el fin de aumentar el rendimiento, reducir los costos y potencialmente la contaminación ambiental. [3] [15]

2.2. *Requerimientos*

El problema planteado por el cliente (Mercedes Berterretche) consiste en el desarrollo de una herramienta informática de optimización de muestreo, que caracterice la variabilidad temporal y espacial, definiendo el número y localizaciones óptimas de muestras.

La herramienta a desarrollar debe ser una extensión del sistema de información geográfica ArcGIS, integrable con ArcMap 10.0-10.1 a través de una barra de

herramientas que contendrá las funcionalidades del producto. La interfaz de usuario conservará el estilo de interfaz definido por ArcMap. Se identificaron dos funcionalidades principales a desarrollar.

El principal requerimiento del proyecto es desarrollar una herramienta que genere un diseño de muestreo óptimo para un campo, en base a las capas de entrada disponibles (tipos de suelo, modelo de elevación y sus derivados, mapas de rendimiento o imágenes satelitales de más de un momento en el tiempo).

En cuanto al segundo requerimiento, debe permitir caracterizar la variabilidad temporal y espacial de un campo a partir de un conjunto de datos históricos. Los datos de entrada para esta funcionalidad pueden ser mapas de rendimientos históricos normalizados en formato compatible con ArcGIS 10.0, imágenes satelitales, ó en su defecto planillas de conductividad eléctrica en formato Microsoft Excel [23] (que también puede llevarse a un archivo vectorial previo uso).

2.2.1. Requerimientos de datos

El cliente cuenta con una funcionalidad que realiza un proceso de clusterización con los datos de entrada generando una zonificación del campo y escribiendo la salida en un archivo con formato de zonificación (.ZF). Los archivos de zonificación contienen información de distintas variables de una chacra en forma de matriz. Esta zonificación debe ser la entrada para la funcionalidad de optimización de muestreo, por lo que el sistema debe ser capaz de interpretar este tipo de archivos.

La salida de las distintas funcionalidades, en caso que sea información geográfica, debe estar en un formato de mapa compatible con ArcGIS, ya que debe ser mostrado en la aplicación.

2.2.2. Otros Requerimientos

Se debe realizar además, un manual que guíe al usuario en la instalación y utilización de la herramienta. La herramienta va a ser utilizada por usuarios con experiencia en el manejo de Sistema de Información Geográfico (SIG).

2.2.3. Evolución de los requerimientos

Culminadas las reuniones e intercambios de correos electrónicos con el cliente, se obtuvieron los requerimientos y se elaboró el documento de especificación de requerimientos² en el cuál se describen todos los mencionados por el cliente. Luego de finalizada ésta etapa, se negoció en conjunto con el cliente en función de sus prioridades, una serie de cambios teniendo en cuenta tiempos de realización y dimensión del proyecto, confeccionando el documento de alcance del sistema³. Las modificaciones en los requerimientos fueron suprimir la entrada de datos en formato Microsoft Excel priorizando los casos de usos fundamentales para el cliente.

Para poder familiarizarnos con los conceptos abarcados en el proyecto, se realizó un estudio del estado del arte de los temas relacionados, además de investigar las diferentes plataformas de desarrollo que brinda ArcGIS para construir extensiones de ArcMap.

² Anexo: Sección 3.1

³ Anexo: Sección 3.2

Capítulo 3

Marco teórico

Incluye los conceptos necesarios para entender aspectos claves que fueron tenidos en cuenta para la realización del proyecto. Los principales temas abordados son, agricultura de precisión, algoritmos de optimización, tipos de muestreo de suelos, utilización de geoestadística en la agricultura y sus conceptos relevantes. El documento con todos los temas estudiados está disponible en el estado del arte.⁴

3.1. *Agricultura de precisión*

La agricultura de precisión se puede definir como un conjunto de tecnologías que permiten la aplicación de insumos agrícolas de forma variable dentro de un mismo potrero en función del requerimiento o potencial de cada sector homogéneo predefinido dentro del mismo. [4]

El uso de esta técnica busca como objetivos reducir de los costos de producción haciendo un uso más eficiente de los insumos, incrementar la productividad y minimizar el impacto ambiental. [4]

Esta técnica tiene sus inicios en el comienzo mismo de la agricultura, tomando un desarrollo importante en la década de los años 70 con la aparición de los GPS en el campo militar (que luego fueron adaptados al uso civil) y el desarrollo de maquinaria agrícola que hacen posible el trabajo diferencial en cada sector homogéneo dentro de un potrero. Se la puede separar en tres etapas: obtención de datos, análisis de datos y aplicación de insumos; que forman un ciclo. [3]

La etapa de obtención de datos es realizada en la propia cosecha con el uso de maquinaria adecuada, generando grandes volúmenes de información de productividad del área cosechada o luego de ésta mediante el proceso de análisis de suelo. Posteriormente sigue la etapa llamada análisis de datos que es donde se interpreta la información recabada por medio de diferentes técnicas y métodos definidos principalmente según la información buscada. Por último tenemos la etapa de aplicación de insumos que consiste en la aplicación diferencial de insumos e incluye la aplicación variable de fertilizantes, semillas y pesticidas. [3]

⁴ Anexo: Capítulo 1

3.2. Variabilidad

Uno de los conceptos básicos en los que se sustenta la agricultura de precisión (AP) es la correcta identificación, descripción y medición de la variabilidad espacial y temporal del ambiente. [12]

Las propiedades físicas y químicas del suelo pueden producir diferentes niveles de nutrientes disponibles para la planta incidiendo en el rendimiento del cultivo a fin de la cosecha. La variabilidad se puede dar en diferentes escalas desde unos centímetros hasta extensiones regionales. Es de interés para la AP estudiar la variabilidad dentro un potrero haciendo más rentable el uso de la técnica a medida que la variabilidad es mayor. [12]

Según *Bouma y Finke*, 1993 [3], la variabilidad del suelo emerge naturalmente a través de las interacciones complejas entre factores naturales y de manejo de los mismos. Los factores naturales son, entre otros, los involucrados en la formación del suelo como ser tiempo, topografía, clima y actividad de organismos. El manejo del suelo como ser la fertilización, laboreo, rotación de cultivos afectan significativamente los patrones de la variabilidad física y química del suelo.

Existen diferentes tipos de variabilidades como son natural, inducida, espacial y temporal.[12]

Tipo	Característica	Ejemplos
Natural	Debido a las características naturales del suelo.	Material de origen del suelo, el clima, la topografía y las especies vegetales y animales.
Inducida	Debida a las actividades de laboreo del suelo y la rotación de cultivos	Compactación en las cabeceras de los potreros debido a maquinaria agrícola, resistencia de ciertos cultivos por el uso indebido de algunos agroquímicos.
Espacial	Indica las variaciones que ocurren en diferentes localizaciones geográficas dentro de un mismo establecimiento, incluso dentro del mismo potrero.	Diferentes niveles de un nutrientes en el suelo, diferencias en el rendimiento de un cultivo en distintas partes del potrero.
Temporal	Indica las variaciones que ocurren en el tiempo y se determina mediante muestreos en diferentes momentos, mediante mapas de rendimiento, fotos aéreas, etc.	Cambios en el clima, en el contenido de humedad del suelo o de un nutriente durante el ciclo del cultivo.

Además de la medición y estudio de la variabilidad de los diferentes parámetros, es importante no perder de vista y establecer los factores que tienen mayor incidencia en el rendimiento del cultivo y en aquellos en donde se tienen posibilidades de intervenir para ser controlados o modificados. [12]

El manejo y la aplicación variable de nutrientes es una de las aéreas con mas desarrollo en la actualidad de la AP. Sin embargo el clima (temperaturas, regímenes de lluvia y niveles humedad) es una de las fuentes más variables en la agricultura con grandes implicancias en los rendimientos de los cultivos y en condiciones de campo difícilmente podemos modificarlo salvo que se trate de un cultivo en condiciones controladas, bajo cubierta o bajo riego. [12]

3.2.1. Relación entre la variabilidad espacial y temporal

A partir de los años 90 cuando se comenzó a consolidar la productividad de los cultivos se esperaba que las diferentes zonas de un campo tuvieran un comportamiento similar a lo largo del tiempo. Larscheid y Blackmore desarrollaron un método para normalizar los diferentes años de manera de poder compararlos y realizar un estudio de las tendencias temporales. [2]

Blackmore et al. 2003 [2], realizaron un trabajo que analiza las tendencias temporales y espaciales en cuatro campos diferentes sobre un histórico de seis años. Durante el análisis se discuten diferentes aspectos dentro de los que se encuentran el proceder en la recolección de datos de manera de eliminar errores (como desviaciones atípicas, terminaciones abruptas, ausencia de datos en algunos puntos, etc.), las formas en la que se presenta la estabilidad temporal, la dificultad para establecer el valor de umbral entre la estabilidad e inestabilidad.

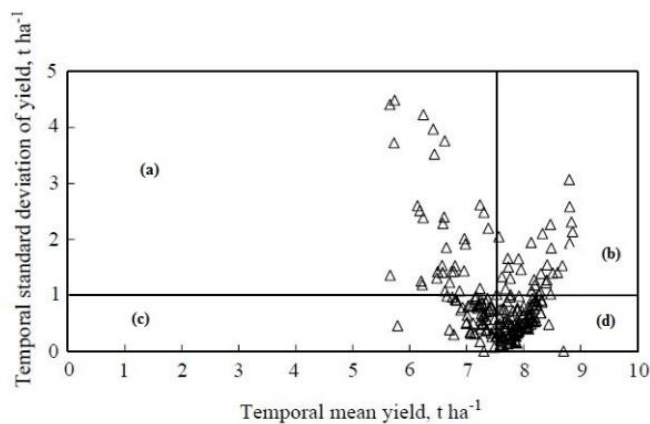
Los autores realizaron una simplificación de los mapas de cada cosecha estandarizando los valores en una grilla de 20m. Valores más grandes de la grilla tienden suavizar los datos mientras que grillas más pequeñas tienden a ser más dependientes del número de puntos. Por un lado el mapa de tendencia espacial se realizó calculando la media aritmética en cada uno de los puntos de la grilla durante los seis años y luego se fueron dividiendo en clases de 1 ton/ha. Mientras que por otro lado, para el cálculo de la tendencia espacial se observó que existían diferencias en los rendimientos entre años, posiblemente relacionadas a condiciones climáticas, consideraron importante separar estas desviaciones interanuales de los efectos espaciales temporales y definen una forma de calcular la varianza temporal en cada uno de los puntos.

$$\sigma_i^2 = \frac{\sum_{t=A_{inicial}}^{t=A_{final}} (Y_{t,i} - \bar{Y}_t)^2}{|A_{final} - A_{inicial}|}$$

Donde σ_i^2 es la variación temporal en el punto i de la grilla, t es el año, $Y_{t,i}$ es el rendimiento en el año a en el punto i, $\bar{Y}_t$ es la media aritmética del rendimiento en el año t y $A_{inicial}$, A_{final} son los años iniciales y finales de históricos respectivamente.[2]

Según esta definición se tiene un valor de la variabilidad temporal, por un lado, bajo en zonas cuyos rendimientos siempre estén cerca de la media denominándolas zonas temporalmente estables. Por otro lado, un valor alto en donde los rendimientos a veces son altos y bajos respecto de la media, denominándolas zonas temporalmente inestables. Con toda esta información concluyó que los campos en estudio se pueden dividir en áreas: (1) zonas de alto potencial: por encima de la media general para el campo, (2) zonas de bajo potencial: por debajo de la media general para el campo, (3) zonas estables: baja variabilidad espacial en el tiempo, (4) zonas inestables: alta variabilidad espacial en el tiempo. Con el rendimiento y la estabilidad que no son mutuo excluyentes nos quedan cuatro categoría de zonas, (a) Bajo potencial e inestable, (b) Alto potencial e inestable, (c) Bajo potencial y estable, y (d) Alto potencial y estable en el tiempo.[2]

En la siguiente figura se observa la representación de cada uno de los puntos de la grilla (simplificación del mapa inicial) dentro de cada una de las zonas. Los autores definen como inestable a los puntos cuando su desviación estándar es superior a 1 ton/ha.



Relación entre la desviación estándar temporal y la media temporal [2].

3.3. Optimización

3.3.1. Definición

Se puede definir como optimización al proceso de seleccionar, a partir de un conjunto de alternativas posibles, aquella que mejor satisfaga el o los objetivos propuestos. Para resolver un problema de optimización se requieren dos etapas principales:

- Formulación del modelo
- Resolución y validación del modelo

La formulación del modelo de optimización no es un procedimiento formal estructurado, sino más bien es un proceso que requiere de experiencia y creatividad.

Una vez generado el modelo, la etapa siguiente es resolver y validar dicho modelo. Esta etapa puede considerarse suficientemente formalizada puesto que los modelos de problemas de optimización han sido muy estudiados y se han desarrollado innumerables métodos y estrategias para resolverlos. [8]

3.3.2. Ubicación-Asignación (Location-Allocation)

El objetivo de estos algoritmos es determinar las ubicaciones óptimas, partiendo de un conjunto de posibles ubicaciones, tomando en cuenta las restricciones y particularidades del problema a resolver.

En el área del muestreo agrícola, es posible optimizar la cantidad y ubicación de muestras a tomar, con el fin de mejorar el costo del muestreo, sin perder precisión en la caracterización del potrero. [1]

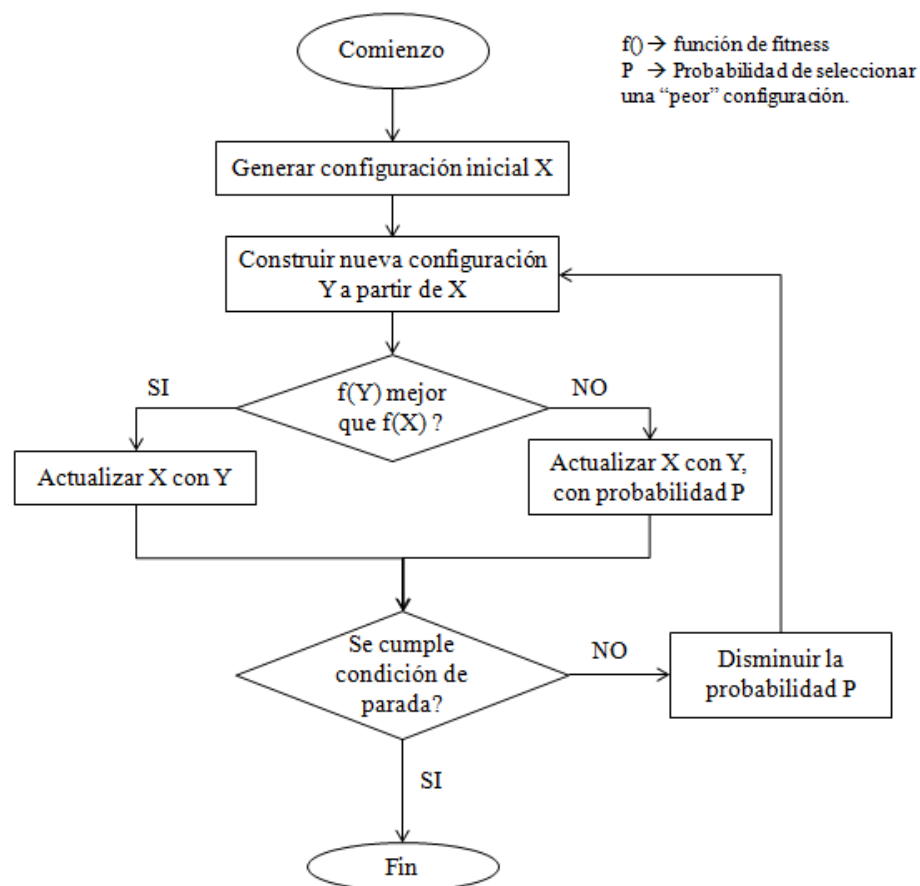
3.3.3. Spatial Simulated Annealing

Spatial Simulated Annealing (SSA) es un algoritmo desarrollado para optimizar diseños de muestreo espaciales (Van Groenigen, 1999) que permite localizar los lugares de muestreo, minimizando una función de fitness dada. La función de fitness más comúnmente utilizada es la varianza media del krigeado, calculada por medio de la estimación del semivariograma.

El proceso de optimización comienza con una configuración de muestreo inicial, seleccionada de forma aleatoria, y se realiza una iteración donde en cada paso se

genera una nueva configuración de muestreo derivada de la configuración anterior, por ejemplo, cambiando la ubicación de alguno de los puntos de muestreo. Se calcula la función de fitness, y si el resultado es mejor que el de la anterior, se selecciona la nueva configuración. Si no es mejor, se decide con un criterio de aceptación probabilístico con qué configuración quedarse.

El criterio de aceptación permite eventualmente que peores configuraciones sean aceptadas, de manera de evitar óptimos locales. A medida que avanza el proceso, decrece la probabilidad de aceptar una peor configuración.



Una de las dificultades principales que posee este algoritmo es determinar la configuración de muestreo inicial. Esta configuración inicial se puede aproximar de manera geoestadística lo que requiere el conocimiento previo del semivariograma de la variable de interés.

3.4. Muestreo

3.4.1. Muestreo discreto

El objetivo del muestreo es obtener un subconjunto de datos que represente adecuadamente toda el área a analizar. El conocimiento del suelo y el clima de la región, el manejo de agronómico del campo, facilitan definir el diseño del muestro discreto de suelos. El muestreo en grillas regulares es uno de los métodos más utilizado principalmente cuando se tiene poca o ninguna información del campo.

De acuerdo con Pocknee et al. 1996 [3], la variabilidad presente en un potrero puede clasificarse de tres formas: micro, meso y macro variabilidad. Las dos primeras se producen en escalas que van desde centímetros a unos pocos metros. La macro variabilidad es causada por cambios mayores de suelo, a través de la fisiografía, que pueden deberse a cambios naturales del tipo de suelo o pueden ser ocasionados como resultado de diferentes rotaciones de cultivos.

Cualquier diseño de muestreo de suelos o cultivos debería ser pensado para que la influencia de la micro y meso variabilidad en el resultado final sea minimizada y sea maximizada la influencia de la macro variabilidad. El diseño del muestreo se planifica en base a lo que se desea muestrear y a la información previa que se tenga del potrero. Según Pocknee et al. 1996 y Mulla McBratney 2002 [3], para la cuantificación de los patrones de variabilidad de una variable en una chacra existen dos aproximaciones. La primera es que se tenga un desconocimiento pleno de la chacra y la segunda se basa en el uso de información complementaria para mejorar la calidad y reducir el margen de error en la información obtenida.

Algunos de los diseños más conocidos se listan a continuación, muestreo en grilla, muestreo al azar, muestreo por juzgamiento, muestreo adaptativo, muestreo de búsqueda, muestreo geoestadístico, muestreo dirigido.

3.4.2. Muestreo en grillas

El muestreo en grillas es el más conocido y se lleva a cabo para evitar los desbalances en la distribución de los puntos en el campo y las dificultades asociadas a la interpolación. Se suele formar la grilla con distintas formas geométricas como pueden ser triángulos, rectángulos, hexágonos, etc. Las más usadas son las grillas en forma rectangular, sin embargo las grillas formadas por

triángulos son las consideradas las más eficientes para captar la variabilidad espacial.

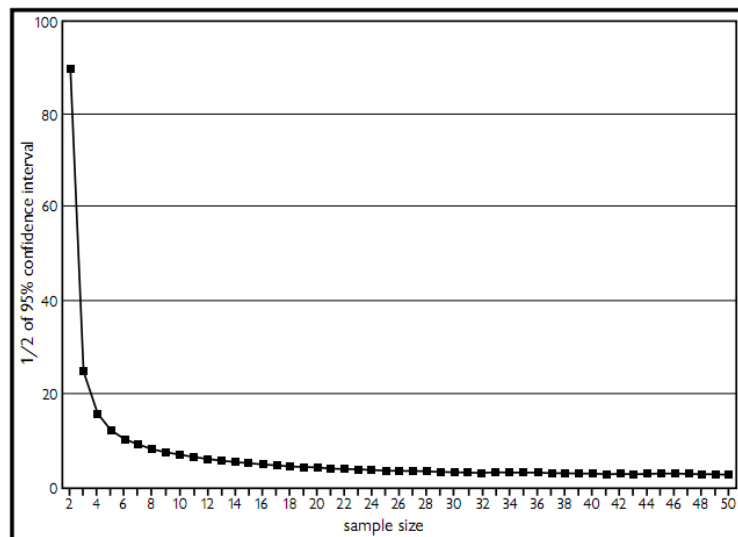
Una de las mayores desventajas de este tipo de muestreo es la linealidad en la toma de muestras que puede ser afectada por patrones de variabilidad sistemáticos (por ej. surco de fertilización). Es por este motivo que existe una variante a este diseño de muestreo que se basa en la división de la chacra en celdas y realizar en cada celda la toma de muestra de forma aleatoria dentro de la misma. De este modo se minimiza el potencial error por la linealidad de las muestras. Este tipo de muestreo se lo conoce como muestreo sistemático estratificado desalineado.

3.4.3. Muestreo por juzgamiento

Este tipo de muestreo es usado por parte del productor cuando se conoce mucho el suelo o se tiene la sospecha de que pueda estar pasando algo en una zona del potrero definida. Los motivos pueden llegar a ser variados, dentro de los que se encuentran el bajo rendimiento obtenido de un cultivo, presencia de enfermedades de la planta, etc. Está muy ligado al conocimiento del productor acerca del campo y carece de valor estadístico.

3.4.4. Muestreo adaptativo

Este tipo de muestreo se basa en el mencionado muestreo en grillas y la cantidad de muestras pueden ir variando a medida que avanzamos en el campo debido a la presencia de mayor o menor variabilidad localizándonos en zonas específicas. La cantidad de tomas de suelo es proporcional a la variabilidad del suelo. El nivel de precisión crece al aumentar la cantidad de muestras, pero no lo hace proporcionalmente. Llega un momento donde el beneficio de aumentar el número de muestras a tomar es insignificante, y su costo asociado no lo amerita, por lo que es de suma importancia encontrar el número óptimo de muestras a tomar. Tomar un número menor de muestras que el óptimo, puede tener como consecuencia que el subconjunto de datos obtenido no represente adecuadamente la realidad en el ambiente.



Influencia del número de muestras sobre el nivel de precisión. Notar que a partir de $n = 30$ no se obtienen mejoras significativas en el nivel de precisión. [7]

Los métodos comentados anteriormente asumen que se cuenta con escasa o ninguna información acerca de la variabilidad existente en el campo. Pocknee et al. 1996 [3] sostiene en su trabajo que antes de comenzar con cualquier sistema de muestreo se debería de tener una aproximación a los patrones de variabilidad existentes. Como información auxiliar se puede considerar mapas de suelos, mapas de pendientes, mapas topográficos, historia de la chacra, mapas de rendimientos históricos, mapas de conductividad eléctrica, registros climáticos, patrones de variabilidad estudiada científicamente. De tener información de la chacra son útiles los siguientes diseños de muestreos.

3.4.5. Muestreo dirigido

Dentro de la clasificación de muestreos dirigidos encontramos a los muestreos geoestadísticos y los muestreos por zonas. “El objetivo central del muestreo geoestadístico es la obtención de un mapa preciso y exacto al menor costo posible, mediante la respuesta de dos cuestiones fundamentales: ¿cuántos puntos de muestreo necesito para una determinada chacra? y ¿Dónde deben estar localizados esos puntos? La clave es la elección de un diseño de muestreo que permita una correcta estimación del variograma y una alta exactitud en la interpolación realizada por kriging para la obtención del mapa.” [3]

Usando la información adicional que se tenga se puede intensificar el muestro en zonas con mayor variabilidad reduciendo la distancia entre tomas de suelo. De lo contrario se puede atenuar el muestreo donde se tenga escasa variabilidad

aumentando la distancia entre tomas de suelo. Además de la distancia y ubicación de las muestras en la chacra no menos importante es la profundidad, el momento, la cantidad de submuestras (pinchazos de suelo) por punto de muestreo.

Por otro lado se cuenta con lo que se llama muestreo en zonas que lo que busca es la definición de zonas dentro de la chacra con similares patrones de variabilidad para realizar los muestreos a cada zona por separado. La dificultad de esta técnica está en el desarrollo de metodologías que permitan combinar las diferentes capas de información para la producción de las zonas que sean apropiadas a los efectos del muestreo a realizar. Este tipo de muestreo está altamente relacionado al concepto de zonas de manejo.

3.5. Geoestadística

3.5.1. Origen y Definición

*“La geoestadística es una rama de la estadística que trata fenómenos espaciales”
“Su interés primordial es la estimación, predicción y simulación de dichos fenómenos” [9].*

Matheron (1962) fue quien realizó la formulación y solución al problema de predicción, generalizando un conjunto de técnicas desarrolladas por geólogo sudafricano D.G. Krige (1951). La definición que dio a la Geoestadística es *"la aplicación del formalismo de las funciones aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales"* [13].

3.5.2. Aplicación en la agricultura

La herramienta geoestadística, es utilizada en la agricultura, para determinar los modelos de distribución de los diferentes nutrientes que contiene el suelo. Así mismo nos permite realizar estimaciones, posibilitando una representación más concisa de cantidades de los nutrientes del suelo en la zona. Esto es de gran utilidad, pues permite conocer la fertilidad que posee la zona estudiada, y con ello tomar diferentes decisiones, tales como, tipo de cultivo a desarrollar y/o cuales nutrientes deben ser reforzados mediante el agregado de fertilizantes en las zonas que más lo necesiten. [10]

3.5.3. Etapas de geoestadística

Un análisis geoestadístico consta de tres etapas. En la primera etapa se debe obtener información de la muestra bajo estudio, identificando observaciones de valores extremos, ubicación, variabilidad y forma de la distribución. Esta etapa es conocida como Análisis Exploratorio de Datos (AED), la cual nos permite conocer si estamos en condiciones de aplicar la teoría geoestadística y nos orienta en la definición del método de predicción más adecuado para el caso de estudio. [9][13]

La segunda etapa llamada análisis estructural, utiliza los datos medidos de una variable y determina la dependencia espacial que existe entre ellos, es decir se determina la estructura de auto correlación espacial. [9][13]

Luego de realizado el análisis estructural, se está en condiciones de efectuar la predicción de valores para la variable, en puntos que pertenecen a la región de estudio y no han sido muestreados. La predicción antes mencionada se logra utilizando alguno de los métodos kriging. [9][13]

3.5.4. Predicción Espacial

Luego de realizado el análisis estructural, se está en condiciones de efectuar la predicción de valores para la variable, en puntos que pertenecen a la región de estudio y no han sido muestreados. La predicción antes mencionada se logra utilizando alguno de los métodos kriging, que “*se fundamentan en la minimización del error cuadrático medio de predicción*” [9].

En la siguiente tabla se mencionan los tipos de kriging y alguna de sus propiedades. [9]

Tipo de predictor	Nombre	Propiedades
Lineal	• Simple • Ordinario • Universal	• Son óptimos si hay normalidad multivariada • Independiente de la distribución son los mejores predictores linealmente insesgados.
No lineal	• Indicador • Probabilístico • Log Normal, Trans-Gaussiano • Disyuntivo	• Son predictores óptimos

Se mencionaran a continuación aspectos generales de los métodos de predicción espacial kriging antes mencionados.

3.5.4.1. Kriging Ordinario

“Suponiendo que se tiene las mediciones de la variable de interés Z en los puntos x_i , $i= 1,2,..., n$, de la región de estudio, es decir se tienen realizaciones de las variables $Z(x_1), Z(x_2), ..., Z(x_n)$, y se desea predecir $Z(x_0)$, en el punto x_0 donde no hubo medición. En esta circunstancia, el método kriging ordinario propone que el valor de la variable puede predecirse como una combinación lineal de las n variables aleatorias así:

$$Z^*(x_0) = \lambda_1 Z(x_1) + \lambda_2 Z(x_2) + \lambda_3 Z(x_3) + \lambda_4 Z(x_4) + \lambda_5 Z(x_5) + \dots + \lambda_n Z(x_n)$$

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

en donde los λ_i representan los pesos o ponderaciones de los valores originales. Dichos pesos se calculan en función de la distancia entre los puntos muestreados y el punto donde se va a hacer la correspondiente predicción. La suma de los pesos debe ser igual a uno para que la esperanza del predictor sea igual a la esperanza de la variable. Esto último se conoce como el requisito de insesgamiento.” [9]

Estadísticamente la propiedad de insesgamiento se expresa a través de:

$$E(Z^*(x_0)) = E(Z(x_0))$$

3.5.4.2. Kriging Simple

“Suponga que hay una variable regionalizada estacionaria con media (m) y covarianza conocidas. De manera análoga a como se define en modelos lineales (por ejemplo en diseño de experimentos) el modelo establecido en este caso es igual a la media más un error aleatorio con media cero. La diferencia es que en este caso los errores no son independientes.

Sea $Z(x)$ la variable de interés medida en el sitio x .”[9]

$$E[Z(x)] = m$$

$$Z(x) = m + \varepsilon(x) \text{ con } E[\varepsilon(x)] = 0$$

El predictor de la variable de interés en un sitio x_0 donde no se tiene información se define como:

$Z^*(x_0) = m + \varepsilon^*(x_0)$, con $\varepsilon^*(x_0)$ corresponde a la predicción del error aleatorio en el sitio x_0 .

Despejando de la ecuación anterior

$$\varepsilon^*(x_0) = Z^*(x_0) - m$$

El predictor del error aleatorio se define por:

$$\varepsilon^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \varepsilon(x_i) = \sum_{i=1}^n \lambda_i (Z(x_i) - m)$$

En donde el predictor de la variable de estudio es:

$$Z^*(x_0) = m + \left[\sum_{i=1}^n \lambda_i (Z(x_i) - m) \right] = m + \sum_{i=1}^n \lambda_i \varepsilon(x_i)$$

Capítulo 4

Solución al problema

En este capítulo se presenta la solución al problema planteado considerando la investigación realizada por el grupo sobre los conceptos abordados para su resolución. Se describen las distintas funcionalidades implementadas, explicando su funcionamiento y las decisiones tomadas en cada caso.

4.1. *Ambiente y plataforma de desarrollo*

Dado el requerimiento de que el producto a implementar debía ser una extensión de ArcMap 10.0, se investigaron las diferentes plataformas de desarrollo que había disponibles para la implementación. Como resultado de la investigación, se concluyó que la solución que más se adaptaba a las necesidades del cliente era la generación de un add-in. El modelo de add-ins brinda una plataforma para crear un conjunto de personalizaciones que son empaquetadas en un único archivo comprimido. Esto permite que sean fácilmente compartidos, además de no requerir un programa de instalación, ya que se agregan al sistema simplemente seleccionando el archivo desde un menú de la aplicación.

Para la implementación de add-ins se utiliza ArcObjects. Este es un entorno de desarrollo para las aplicaciones de escritorio de ArcGIS. Mediante la utilización de los distintos SDK (kits de desarrollo de software) [17] disponibles, los desarrolladores pueden extender las aplicaciones. Los SDK asisten a los desarrolladores en la codificación de las aplicaciones, brindando las mejores prácticas, documentación, secciones de código y ejemplos. Los add-ins pueden ser implementados en .NET o Java, por lo que se evaluaron ambas alternativas optando finalmente en la implementación en .NET y utilizando como entorno de desarrollo Microsoft Visual Studio 2010. Esta decisión fue influenciada por los siguientes factores:

- La documentación existente en la web de ArcGIS era más completa para el desarrollo en .NET
- Dos integrantes del grupo contaban con experiencia en la implementación de ArcGIS web utilizando la API para Silverlight, utilizando .NET como lenguaje de programación y Visual Studio 2010 como entorno de

desarrollo. Además, el otro integrante del grupo, contaba con experiencia en desarrollos con el lenguaje .NET.

- El SDK de ArcObjects para .NET, incluye un asistente para la creación de add-ins que se integra con Visual Studio.
- Visual Studio contiene una herramienta (Excel Visual Studio Tools for Office) que permite manipular archivos Excel de manera sencilla. Esto facilita la lectura de archivos de entrada en este formato.

4.2. Funcionalidades

A partir de las reuniones⁵ de análisis de requerimientos con el cliente se identificaron dos funcionalidades principales a implementar. Se describe a continuación la solución planteada para ambas.

4.2.1. Caracterización de la variabilidad espacio-temporal

Se investigó sobre diferentes posibilidades de realizar una clasificación de un campo según su variabilidad espacio-temporal. El método que consideramos que mejor se adaptaba a las necesidades del cliente fue el estudio de Blackmore [2]. Este divide el campo en grillas y determina la variabilidad temporal de cada celda dependiendo de qué tan cerca de la media del campo está el rendimiento de la celda. Si para todos los años el rendimiento es cercano al de la media, la celda se clasifica como ESTABLE, de lo contrario se clasifica como INESTABLE. La celda se clasifica además según su rendimiento medio de todos los años, dependiendo si está por encima o por debajo de la media del rendimiento del campo para todos los años. Con estas dos clasificaciones, una celda puede ser clasificada como:

- Rendimiento Bajo - Inestable
- Rendimiento Bajo - Estable
- Rendimiento Alto - Inestable
- Rendimiento Alto - Estable

El umbral que define la estabilidad de una celda depende del coeficiente de variación de la variable seleccionada, que se calcula dividiendo la desviación

⁵ Anexo: Sección 8.5..8.9

estándar sobre la media. Este umbral es configurable por el usuario al momento de ejecutar la aplicación.

4.2.2. Generación de un diseño de muestreo óptimo

Para esta funcionalidad se decidió que la mejor opción era dividirla en dos módulos independientes. El primero, llamado “Diseño de muestreo”, recibe un archivo de zonificación .ZF y a partir de este genera una capa de puntos con un atributo numérico en un formato compatible con ArcGIS que representa un diseño de muestreo inicial en forma de grilla.

El segundo, llamado “Optimizar muestreo”, recibe como entrada una capa de puntos en formato compatible con ArcGIS con un atributo numérico y aplica la optimización del muestreo (según el método utilizado que se explicará más adelante), devolviendo una capa de puntos que contiene las zonas del campo de donde deben tomarse las muestras.

Las razones por la que se realizó esta separación son las siguientes:

- La conversión de archivo de zonificación a una capa de puntos puede ser utilizada para otro propósito, no solo para la optimización de muestreo.
- Se puede realizar la generación de la capa de puntos y en otro momento del tiempo ejecutar la optimización, ya que esta queda guardada para poder utilizarla cuando se necesite. Esto permite además, que una generación de un diseño de muestreo, pueda ser utilizado tantas veces sea necesario para realizar la optimización del muestreo, sin tener que volver a generar la capa de puntos en cada ejecución.
- Es posible ejecutar el módulo de optimización de muestreo sin contar con un archivo de zonificación, para ejecutarlo se necesita una capa de puntos compatible con ArcGIS que tenga un atributo numérico. Esto permite independizar la optimización de muestreo de los archivos de zonificación.

4.2.2.1. Diseño de muestreo

Este módulo se utiliza para la generación de la capa de ArcGIS que servirá como entrada al módulo de optimización. Recibe como entrada un archivo de zonificación, lee su contenido y genera una capa como resultado. Los archivos de zonificación contienen información de distintas variables de una chacra en forma de matriz con filas y columnas de 10 metros. Para poder brindarle al usuario la

mayor libertad posible al momento de crear la zonificación se permite configurar los siguientes aspectos:

- El tamaño de las celdas de la grilla de salida. Esto permite que se realice una generalización del campo que devuelva una capa con puntos a mayor distancia que los disponibles en el archivo de zonificación.
- Las variables del campo a tener en cuenta. En caso de que el usuario seleccione más de una variable, estas serán normalizadas y promediadas para poder darle a todas el mismo peso, y que este no dependa de la escala de las mismas.

4.2.2.2. Optimización de muestreo

Luego de evaluar las diferentes alternativas para realizar la optimización del muestreo, optamos por implementar el método Spatial Simulated Annealing (SSA)⁶. Las razones por las que se eligió este método por sobre otros son las siguientes:

- Se encontraron varias referencias de estudios donde se utilizó SSA para la optimización de muestreo en diferentes ámbitos, obteniendo los resultados esperados. [15] [6] [5]
- Este método es relativamente fácil de codificar. Los principales desafíos son determinar la función de fitness (que representa que tan buena es una solución) y calibrar los parámetros del algoritmo.
- Se investigó además el algoritmo de clustering Clarans. Este método puede ser utilizado para dividir el campo en zonas de manejo comunes, pero se descartó debido a que el cliente ya contaba con una herramienta que realiza este trabajo y no era ese el objetivo de este proyecto. [14]

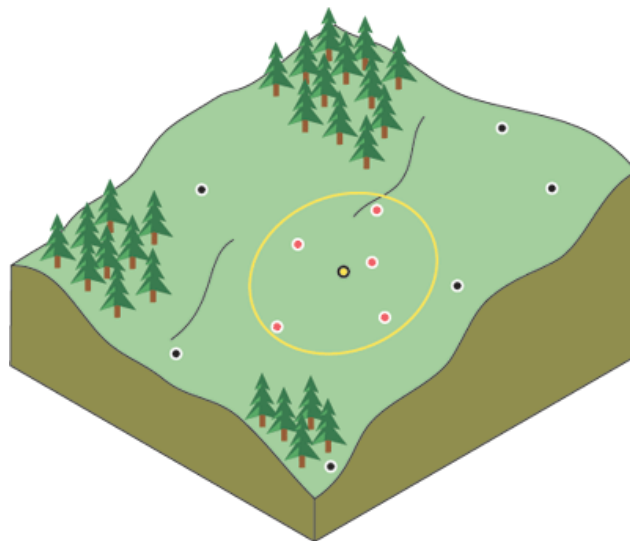
Se realizaron algunas modificaciones al método original formulado por Van Groenigen. El cambio principal fue la no utilización de la minimización de la varianza media del kriging como función de fitness. ArcMap 10.0 tiene disponible la herramienta Geostatistical Analyst, que incluye entre otros, distintos métodos de interpolación como por ejemplo kriging e IDW. Nuestra intención era poder utilizar kriging, pero pudimos comprobar que el SDK de ArcGIS para .NET no permitía realizarlo directamente, ya que no está disponible como una funcionalidad independiente, sino que sólo puede ser ejecutado a través del asistente de ejecución dentro de ArcMap. La primera alternativa que

⁶ Anexo: Capítulo 1

consideramos fue implementar directamente el kriging, pero al intentar hacerlo, los tiempos de ejecución del algoritmo se incrementaron en gran magnitud, descartando también esta solución. Finalmente, realizamos pruebas con el método de interpolación IDW (se explicará más adelante), logrando ejecutarlo desde el SDK de ArcGIS y obteniendo resultados de interpolación muy similares a los de kriging. A continuación se describe el método de interpolación utilizado. [11]

4.2.2.2.1. IDW como método de interpolación

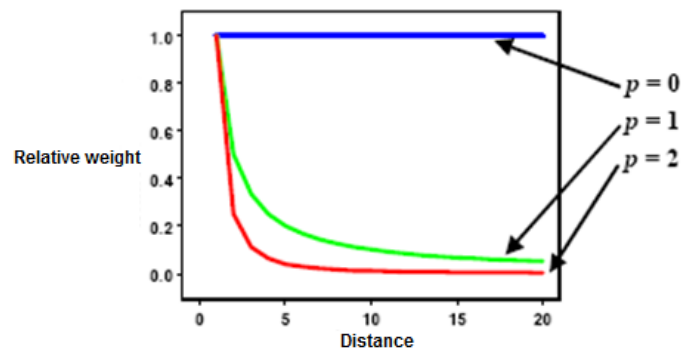
El método de interpolación mediante distancia inversa ponderada (IDW) presupone que las cosas que están próximas entre sí son más semejantes que las que están más alejadas. Para predecir un valor para cualquier localización no medida, utiliza los valores medidos que rodean el lugar de predicción. Los valores medidos más cercanos a la ubicación de predicción tienen más influencia que los más alejados. IDW asume que cada punto de medición tiene una influencia local que disminuye con la distancia. Se da mayor peso a los puntos más cercanos a la ubicación de predicción, y los pesos disminuyen como una función de la distancia, de ahí el nombre inverso de la distancia ponderada.



How Inverse Distance Weighted interpolation works [11]

Como se mencionó anteriormente, los pesos son proporcionales a la inversa de la distancia entre el punto que contiene datos y la ubicación a predecir, elevado al exponente p . Como resultado, al aumentar la distancia, los pesos disminuyen rápidamente. La tasa a la que disminuyen los pesos es dependiente del valor de p .

Si $p = 0$, no hay una disminución con la distancia, por lo que la predicción será la media de todos los valores de datos en la zona de búsqueda. Al aumentar p , los pesos de los puntos distantes disminuyen rápidamente. Si p es muy alto, solamente los puntos cercanos inmediatos tendrán influencia la predicción.



How Inverse Distance Weighted interpolation works [11]

La herramienta Geostatistical Analyst de ArcGIS utiliza valores de exponente mayor o igual a 1. Se utiliza $p = 2$ como valor predeterminado. Debido a que la fórmula de IDW no está relacionada con ningún proceso físico real, no hay forma de determinar que un valor de exponente en particular es demasiado grande.

Se puede asumir que el valor óptimo para el exponente es donde el error absoluto medio mínimo se encuentra en su punto más bajo. La herramienta Geostatistical Analyst de ArcGIS proporciona una forma de investigar esto.

Las características de la superficie interpolada también pueden controlarse limitando los puntos de entrada que se utilizan en el cálculo de cada valor de celda de salida. Limitar la cantidad de puntos de entrada considerados puede mejorar la velocidad de procesamiento.

Se puede especificar la cantidad de puntos a utilizar directamente o especificar un radio fijo dentro del cual se incluirán los puntos en la interpolación.

Una superficie calculada usando IDW depende del valor del exponente p y de la estrategia de búsqueda de vecinos. IDW es un interpolador exacto, donde los valores máximo y mínimo en la superficie interpolada sólo pueden ocurrir en los puntos donde se tienen datos. La superficie de salida es sensible a la agrupación y la presencia de valores atípicos.

La fórmula utilizada por el método es:

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i)$$

Donde:

$\hat{Z}(s_0)$ es el valor que se intenta predecir para el punto s_0 .

N es el número de puntos de muestra que rodean al punto a predecir, que se van a utilizar en la predicción.

λ_i son los pesos asignados a los puntos de muestras que se van a utilizar. Estos pesos decrecen con la distancia.

$Z(s_i)$ es el valor en el punto s_i .

La fórmula para determinar los pesos es la siguiente:

$$\lambda_i = d_{i0}^{-p} / \sum_{i=1}^N d_{i0}^{-p} \quad \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1$$

A medida que la distancia aumenta, los pesos se reducen con un factor p .

La medida d_{i0} es la distancia entre el punto a predecir s_0 y cada uno de los puntos de muestra, s_i .

4.2.2.2.2. *MAPE como medida de error*

Otra de las modificaciones realizadas fue la utilización del Error Absoluto Medio Porcentual (MAPE) como valor a minimizar, sustituyendo a la varianza media del método original. Lo que motivó este cambio fue que la varianza media depende de la escala de la variable a analizar. Como la aplicación permite al usuario modificar la condición de parada del algoritmo (cuando la función de fitness se minimiza hasta un porcentaje de error dado), utilizando MAPE el usuario puede definirla teniendo en cuenta que tan precisa es la solución en términos porcentuales. Lo que busca nuestra solución es distribuir los puntos en el campo de modo que al realizar la interpolación con el método IDW, la diferencia entre los valores reales y los interpolados minimicen el MAPE.

4.2.2.2.3. *Número de muestras inicial*

Para poder definir una fórmula que calcule el número de muestras inicial con el que comienza a ejecutar el algoritmo, investigamos documentos relacionados con la utilización de SSA. La única información que encontramos respecto a este tema [15] mencionaba que para garantizar la dependencia espacial de las muestras, se utilizaba una distancia equivalente a la mitad del rango del semivariograma calculado. Como ArcMap permite, mediante el asistente de Geostatistical Analyst,

realizar el semivariograma y determinar el rango de este, utilizamos esta medida junto con el área del campo para definir el número de muestras inicial.

La fórmula utilizada para calcular la cantidad de muestras, fue definida basándonos en el supuesto que las muestras se ubican inicialmente en una grilla, donde cada celda de la grilla tiene lado igual la mitad del rango. El área de cada celda está dada por:

$$\left(\frac{rango}{2}\right)^2$$

Por lo que las muestras ubicadas en toda el área del campo nos dan la siguiente igualdad:

$$\left(\frac{rango}{2}\right)^2 = \hat{A}/n$$

Donde $\hat{A}$ es el área del campo y n el número de muestras a calcular.

Despejando n tenemos que:

$$n = 4\hat{A}/rango^2$$

Esta fórmula sólo intenta asistir al usuario a definir el número de muestras inicial, que luego va a intentar ser reducido al máximo posible. Si el usuario decide no utilizarla, puede indicar el número de muestras manualmente basándose en el conocimiento previo del campo.

4.2.2.2.4. Reducción del número de muestras

Se realizó además, un agregado al método SSA, para permitir poder reducir el número de muestras mientras sea posible. El método original parte de un número de muestras fijo e intenta optimizar la función de fitness hasta cumplir alguno de los criterios de parada (cantidad de iteraciones o error esperado). Lo que agregamos en nuestra solución es que si el método llega al error definido por el usuario, reduce el número de muestras en una unidad y vuelve a ejecutar el algoritmo. Esto permite no sólo optimizar la distribución de las muestras en el campo, sino que también optimiza la cantidad. Todas las ejecuciones del algoritmo son guardadas como una capa de ArcGIS y se genera además un

archivo de resumen de ejecución, que da los resultados de las distintas ejecuciones, con su respectivo número de muestras, cantidad de iteraciones y error obtenido. Con esta información, el usuario puede decidir cuál es la más apropiada para aplicar.

4.2.2.2.5. Calibración

Se realizó una calibración del algoritmo para definir las variables iniciales, basándonos en la función de probabilidad de aceptar peores soluciones. Estas son: temperatura inicial, factor de reducción y cantidad de iteraciones. La función de probabilidad de aceptar peores soluciones es:

$$p = e^{\left(\frac{-\Delta}{t \alpha^i}\right)}$$

Donde Δ es la diferencia relativa entre el error de la solución actual y la óptima expresada de forma porcentual, t es el valor de la temperatura del algoritmo, α es el factor de reducción, i es el número de iteración.

El algoritmo está calibrado de manera que inicialmente acepta soluciones que tienen un 50% de error respecto de la solución óptima actual con una probabilidad del 20%. A medida que se va iterando, el error aceptado para las peores soluciones se va reduciendo. Transcurrido un 70% de las iteraciones se aceptan peores soluciones con hasta un 5% de error con una probabilidad del 20%. El objetivo detrás de aceptar peores soluciones es evitar óptimos locales.

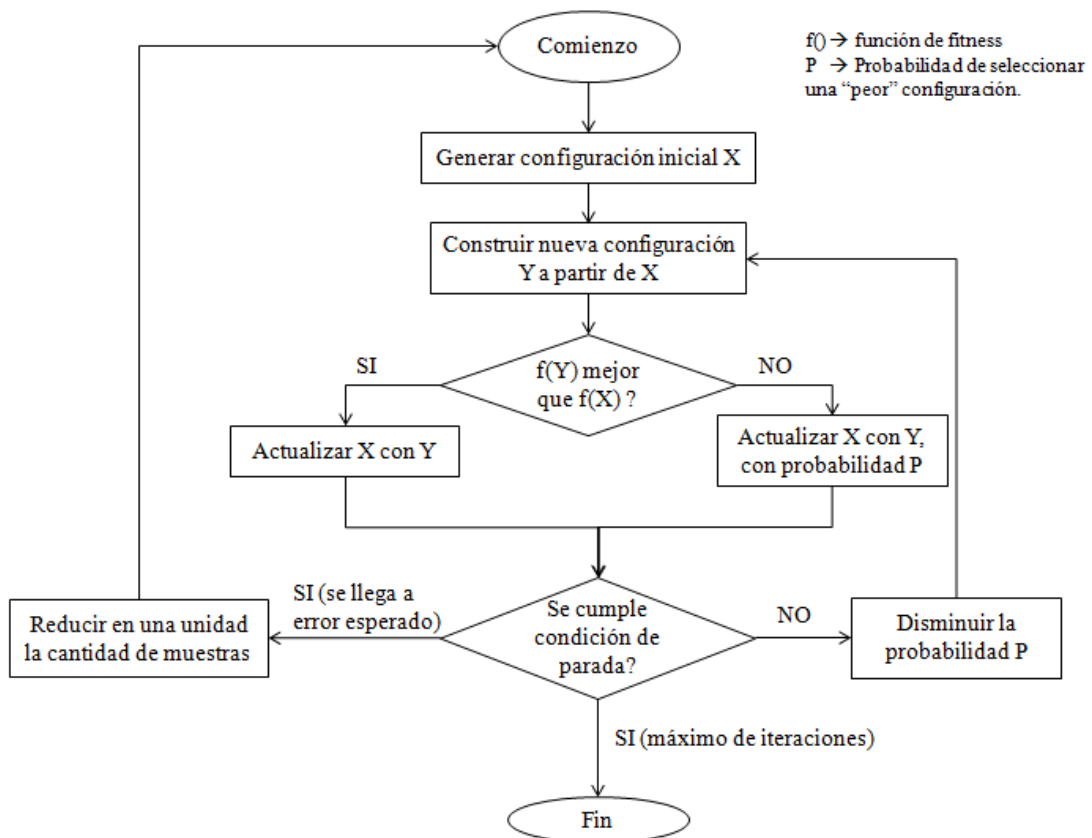
A continuación se presenta la fórmula para determinar los valores de temperatura inicial (t) y factor de reducción (α) dada la cantidad de iteraciones.

$$t_{inicial} = \frac{-\Delta}{\ln p} \quad \alpha = \sqrt[i]{\frac{-\Delta}{t \cdot \ln p}}$$

Cabe destacar que estos parámetros son configurables por el usuario desde la aplicación, de modo que se pueden modificar si es necesario.

4.2.2.2.6. Resumen

A continuación se presenta un diagrama de estados del método utilizado con su correspondiente explicación:



Se genera una configuración de muestreo inicial con un número de muestras definido por el usuario. Luego se comienza una iteración que en cada paso va generando una nueva configuración, cambiando al azar un punto de muestreo, comparando ambas configuraciones. Si la nueva configuración es mejor que la óptima actual, esta pasa a ser la configuración óptima actual, en caso contrario se acepta la nueva configuración como la óptima actual con una probabilidad que depende de los parámetros del algoritmo y que va decreciendo en cada iteración. Si en algún momento se llega al error esperado, se reduce en una unidad el número de muestras y se vuelve a comenzar. En caso de que se llegue al número máximo de iteraciones el algoritmo finaliza su ejecución.

Esta solución fue planteada y discutida en conjunto con el cliente y el tutor, resultando aceptada por ambas partes.

Capítulo 5

Solución informática

En este capítulo se describe la solución informática implementada. Se detallan los requerimientos funcionales y no funcionales que están dentro del alcance del proyecto, se describen los casos de uso elaborados y el modelo de dominio del sistema. Además incluye los aspectos principales de la arquitectura y diseño del sistema. Por último se menciona el ambiente de desarrollo utilizado.

5.1. *Requerimientos*

En esta sección se presentan los requerimientos funcionales y no funcionales que el producto cumple, los cuales se relevaron y validaron en reuniones efectuadas con el cliente⁷. Además se detallan los casos de usos elaborados luego de analizar los requerimientos funcionales, y se presenta el modelo de dominio de la solución implementada.

5.1.1. **Requerimientos Funcionales**

Módulo 1: Caracterización de la variabilidad temporal

Nombre	Descripción
Caracterización a partir de mapas continuos	Se genera una capa que representa la caracterización de la variabilidad temporal a partir de mapas históricos continuos en el espacio (Ej. Mapas de rendimiento).

Módulo 2: Diseño de muestreo

Nombre	Descripción
Diseño de muestreo	El sistema recibe como entrada la zonificación del campo en estudio (resultado de la clusterización), el o los nutrientes que se pretender muestrear y la precisión con la cual se desea trabajar. Se deberá permitir elegir los siguientes parámetros para realizar el diseño del muestreo: • Archivo de zonificación a utilizar

⁷ Anexo: Sección 3.1

	• Variables a tener en cuenta para calcular la variabilidad. • Tipo de red: ○ Cantidad de celdas ✓ Filas ✓ Columnas ○ Tamaño de celdas: ✓ Alto ✓ Ancho • Nombre de capa de muestreo resultado

Módulo 3: Optimización de muestreo

Nombre	Descripción
Optimización de muestreo	El sistema recibe como entrada una capa que contiene los posibles puntos de muestreo (salida del módulo diseño de muestreo), y luego de aplicar un algoritmo de optimización retorna el diseño de muestreo óptimo como una capa de ArcGIS indicando cantidad y localización en el campo de los puntos de muestreo. El sistema no devuelve un único diseño de muestreo óptimo, sino que mientras que sea posible, se irá reduciendo el número de muestras y se volverá a aplicar el algoritmo de optimización para el nuevo número de muestras. Este proceso se repetirá hasta que no se pueda reducir el error de aproximación hasta un nivel dado por el usuario. Como salida se obtienen las diferentes capas con los distintos diseños de muestreos óptimos junto con un archivo de texto que contiene el resumen de la ejecución.

5.1.2. Requerimientos No Funcionales

- Manejar las excepciones, para aumentar la robustez del sistema. En caso de fallas, el programa deberá informar al usuario la causa.
- Código correctamente comentado, de forma tal de facilitar su extensibilidad y mantenimiento a lo largo del tiempo⁸.
- Que el producto sea instalable en la versión de ArcGIS 10.0

⁸ Anexo: Sección 5.1

- Proveer un manual de usuario⁹ con el fin de ayudar y guiar a los usuarios del producto, que además contenga una guía de instalación con los pasos necesarios para incorporar el producto en la versión de ArcGIS 10.0.
- Pautas de Interfaz de usuario¹⁰: es una barra de herramientas conservando el estilo estándar de ArcGIS. La misma contiene las funcionalidades del producto.

5.1.3. Casos de Uso

A continuación se presentan los tres casos de uso¹¹ elaborados.

5.1.3.1. Caracterización de la variabilidad temporal

Nombre:	Caracterización de la variabilidad temporal
Objetivo:	Se genera una capa que representa la caracterización de la variabilidad temporal a partir de capas históricas continuas en el espacio (Ej. Capas de rendimiento).
Actores:	Usuario.
Precondiciones:	• Existen al menos dos capas históricas continuas en el espacio cargadas en la herramienta ArcMap de ArcGIS 10.0.
Descripción:	El actor elige las capas históricas continuas en el espacio a utilizar, realizando una selección sobre las capas cargadas en ArcMap. Luego para cada una de las capas seleccionadas, deberá elegir la variable con la cual se realizara la caracterización de la variabilidad temporal. Finalmente el actor selecciona la capa base que definirá la extensión de la capa de salida, el nivel de estabilidad que determina si una zona es variable, el tipo de red (por cantidad de celdas o por tamaño de celdas) y además la ruta y el nombre para la capa resultante.

⁹ Anexo: Capítulo 2

¹⁰ Anexo: Sección 3.6

¹¹ Anexo: Sección 3.5

Flujo Normal:

1. El actor elige el módulo Caracterización de la variabilidad temporal.
2. El sistema despliega la ventana del módulo, la misma contendrá las capas cargadas en ArcMap junto a las variables de cada una de ellas.
3. El actor selecciona:
 - Capas (al menos dos)
 - Variable a utilizar en cada mapa
 - Capa base
 - Nivel de estabilidad
 - Ingresa ruta donde se creara la capa resultante
 - Tipo de red
 - La ruta donde se creara la capa resultante y el nombre para la misma
4. El actor confirma selección realizando clic en botón “Aceptar”
5. El sistema cierra la ventana de trabajo.
6. Fin CU

Flujos Alternativos:

5A. Faltan parámetros de entrada

5A1. El sistema informa que falta ingresar alguno de los campos.

5A2. Ir al punto 03 del Flujo Normal

5B. Formato de parámetro de entrada incorrecto

5B1. El sistema informa que el formato del parámetro de entrada es incorrecto.

5B2. Ir al punto 03 del Flujo Normal

G1 El actor cancela la operación.

Fin CU

Post condiciones:

El sistema crea una capa en formato shapefile con la caracterización temporal según parámetros seleccionados en paso 3, la cual queda visible en ArcMap y guardada en la ruta especificada por el actor.

5.1.3.2. Diseño de muestreo

Nombre:	Diseño de muestreo
Objetivo:	Generar diseño de muestreo
Actores:	Usuario
Precondiciones:	• Existe un archivo de zonificación disponible.
Descripción:	El actor selecciona el archivo de zonificación de un campo y luego deberá elegir las variables a tener en cuenta para calcular la variabilidad, el tipo de red (por cantidad de celdas o por tamaño de celdas) y además la ruta y el nombre para la capa de muestreo resultante.
Flujo Normal:	1. El actor elige el módulo Diseño de muestreo. 2. El sistema despliega la ventana del módulo. 3. El actor selecciona el archivo de zonificación. 4. El sistema despliega las posibles variables a tener en cuenta para calcular la variabilidad. 5. El actor selecciona: ➤ Variables a tener en cuenta para calcular la variabilidad ➤ Tipo de red ➤ Ruta donde se creara la capa resultante ➤ Nombre para capa resultante. 6. El actor confirma selección realizando clic en botón “Aceptar”. 7. El sistema finaliza la ejecución y cierra la ventana de trabajo. Fin CU
Flujos Alternativos:	4A. El archivo de zonificación no tiene el formato adecuado. 4A1. El sistema informa que el archivo de zonificación no tiene el formato adecuado. 4A2. Ir al punto 03 del Flujo Normal. 7A. Faltan parámetros de entrada. 7A1. El sistema informa que falta ingresar alguno de los campos. 7A2. Ir al punto 05 del Flujo Normal. 7B. Formato de parámetro de entrada incorrecto 7B1. El sistema informa que el formato del parámetro de entrada es incorrecto.

7B2. Ir al punto 05 del Flujo Normal
G1 El actor cancela la operación. Fin CU
Post condiciones: El sistema crea una capa en formato shapefile con los posibles puntos de muestreo, la cual queda visible en ArcMap y guardada en la ruta especificada por el actor.

5.1.3.3. Optimizar muestreo

Nombre:	Optimizar muestreo
Objetivo:	Retornar una serie de diseños de muestreo óptimos en formatos de capas de ArcGIS, indicando cantidad de puntos utilizados y localización en el campo de cada punto, para cada una de las capas de salida.
Actores:	Usuario
Precondiciones:	Existe un shapefile de tipo POINT con los posibles puntos de muestreo, que tiene una columna de datos con nombre “Valor” que representa la variabilidad en el punto.
Descripción:	El actor selecciona una capa con los posibles puntos de muestreo, método de estimación (IDW), indica el número de muestras (se puede ingresar directamente, o calcularse a partir del parámetro opcional “rango”, que indica la distancia máxima a la cual los puntos mantienen correlación espacial según semivariograma), porcentaje de error de estimación aceptado, opcionalmente puede modificar los parámetros del algoritmo de optimización, además debe ingresar ruta y nombre para la capa resultante.
Flujo Normal:	- El actor elige el módulo Optimización de muestreo. - El sistema despliega la ventana del módulo. - El actor selecciona: ➤ Capa de muestreo ➤ Método de estimación ➤ Cantidad de muestras ➤ Porcentaje de error de estimación aceptado ➤ Ruta donde se creara la capa resultante ➤ Nombre para capa resultante - El actor confirma selección realizando clic en botón “Aceptar”

5. El sistema finaliza la ejecución y cierra la ventana de trabajo.
6. Fin CU

Flujos Alternativos:

4A. Modificación de parámetros del algoritmo de optimización

4A1. El actor modifica los parámetros del algoritmo.

4A2. Ir al punto 04 del Flujo Normal

5A. Faltan parámetros de entrada

5A1. El sistema informa que falta ingresar alguno de los campos.

5A2. Ir al punto 03 del Flujo Normal

5B. Formato de parámetro de entrada incorrecto

5B1. El sistema informa que el formato del parámetro de entrada es incorrecto.

5B2. Ir al punto 03 del Flujo Normal

G1 El actor cancela la operación.

Fin CU

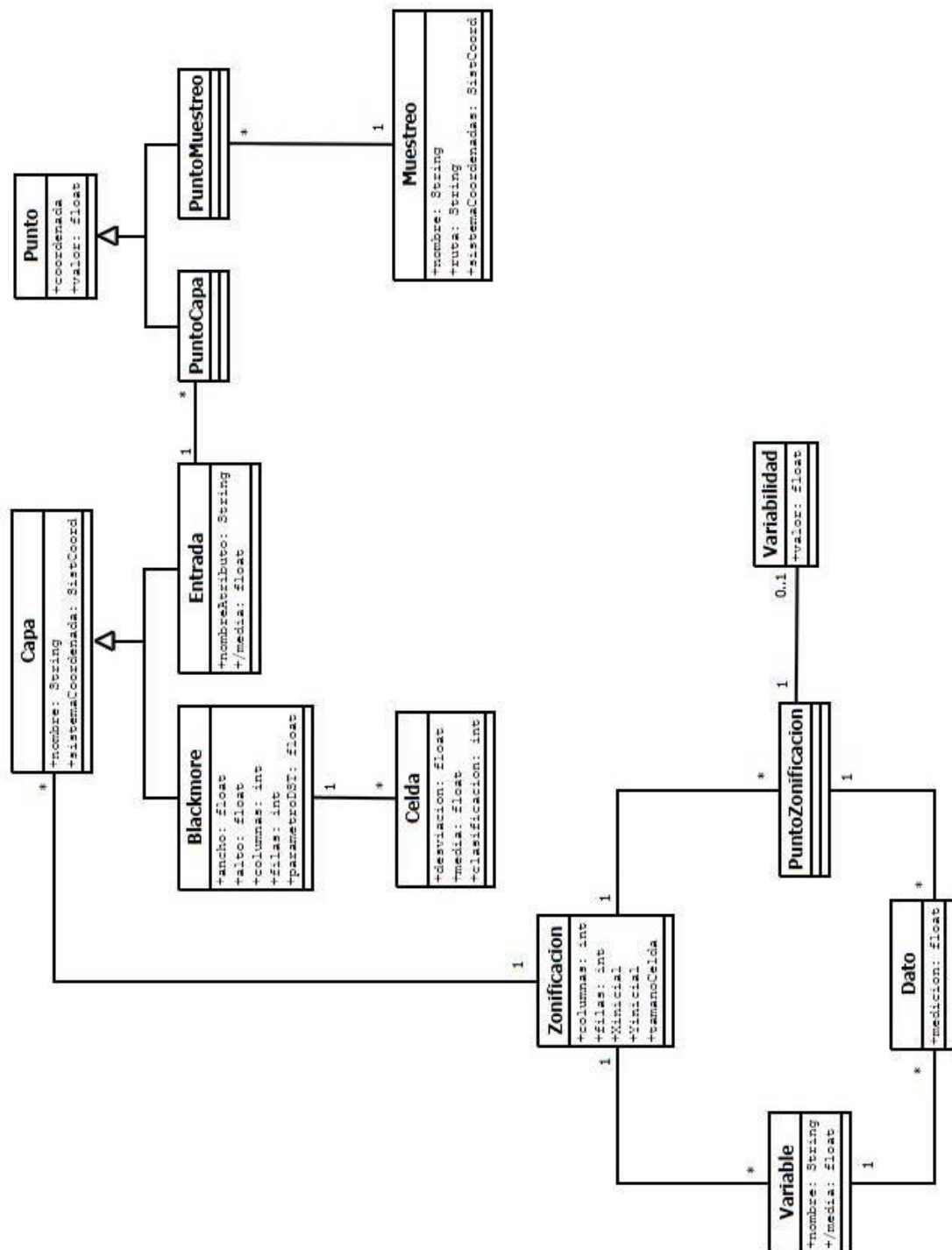
Post condiciones:

Se crea en el directorio pasado como parámetro el archivo de texto que contiene el resumen de la ejecución (“ddMMaaaa_hhmm_Resumen.txt”) y un directorio (“ddMMaaaa_hhmm_Capas”) conteniendo los shapefiles con las configuraciones de muestreo óptimo según la cantidad de muestras, las cuales quedan visibles en ArcMap.

5.1.4. Modelo de Dominio

Se presenta el Modelo de Dominio¹² realizado, en el cual se incluyen las entidades identificadas con sus atributos, las relaciones entre éstas con su cardinalidad, especializaciones, generalizaciones, agregaciones y restricciones del dominio.

¹² Anexo: Sección 3.4



5.1.4.1. Restricciones del Modelo de Dominio

Un PuntoZonificacion tiene datos de una variable, únicamente si esa variable pertenece al conjunto de variables de la zonificación a la cual pertenece el PuntoZonificacion.

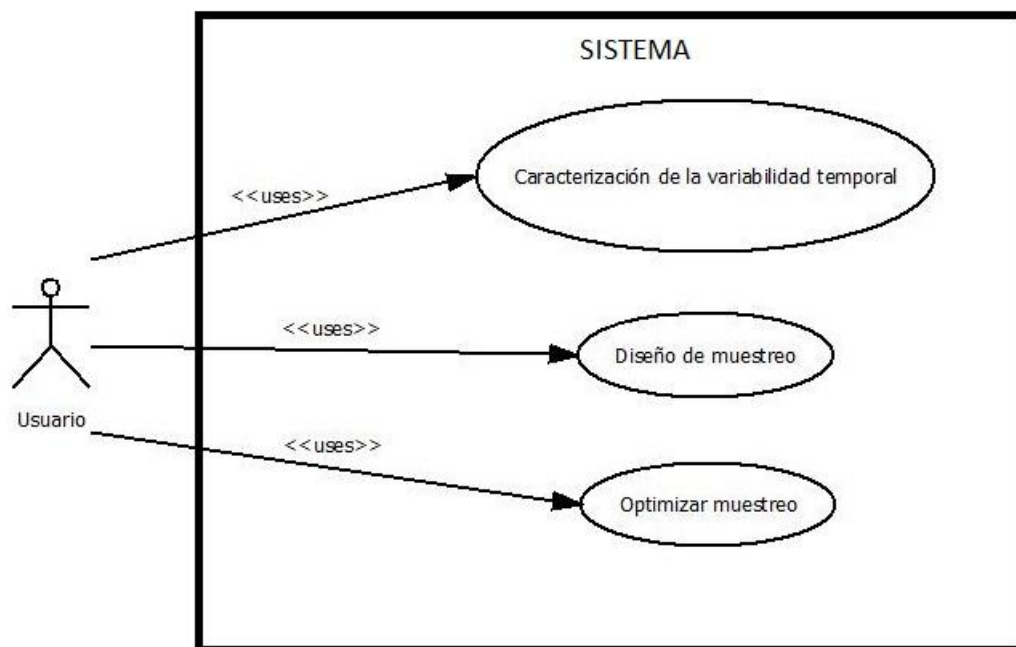
5.2. *Diseño y Arquitectura*

El objetivo de esta sección es especificar formalmente el diseño de los componentes del sistema, proporcionando una visión general del Modelo de Diseño¹³ del sistema desarrollado, así como las descripciones del diseño de casos de uso y de clases. Además describir en detalle los principios arquitectónicos utilizados para la construcción del producto desarrollado

5.2.1. Diseño de casos de uso

En esta subsección se especifica el comportamiento de los casos de uso, mediante objetos de diseño que interactúan, y se determinan las operaciones e interfaces de los distintos objetos de diseño.

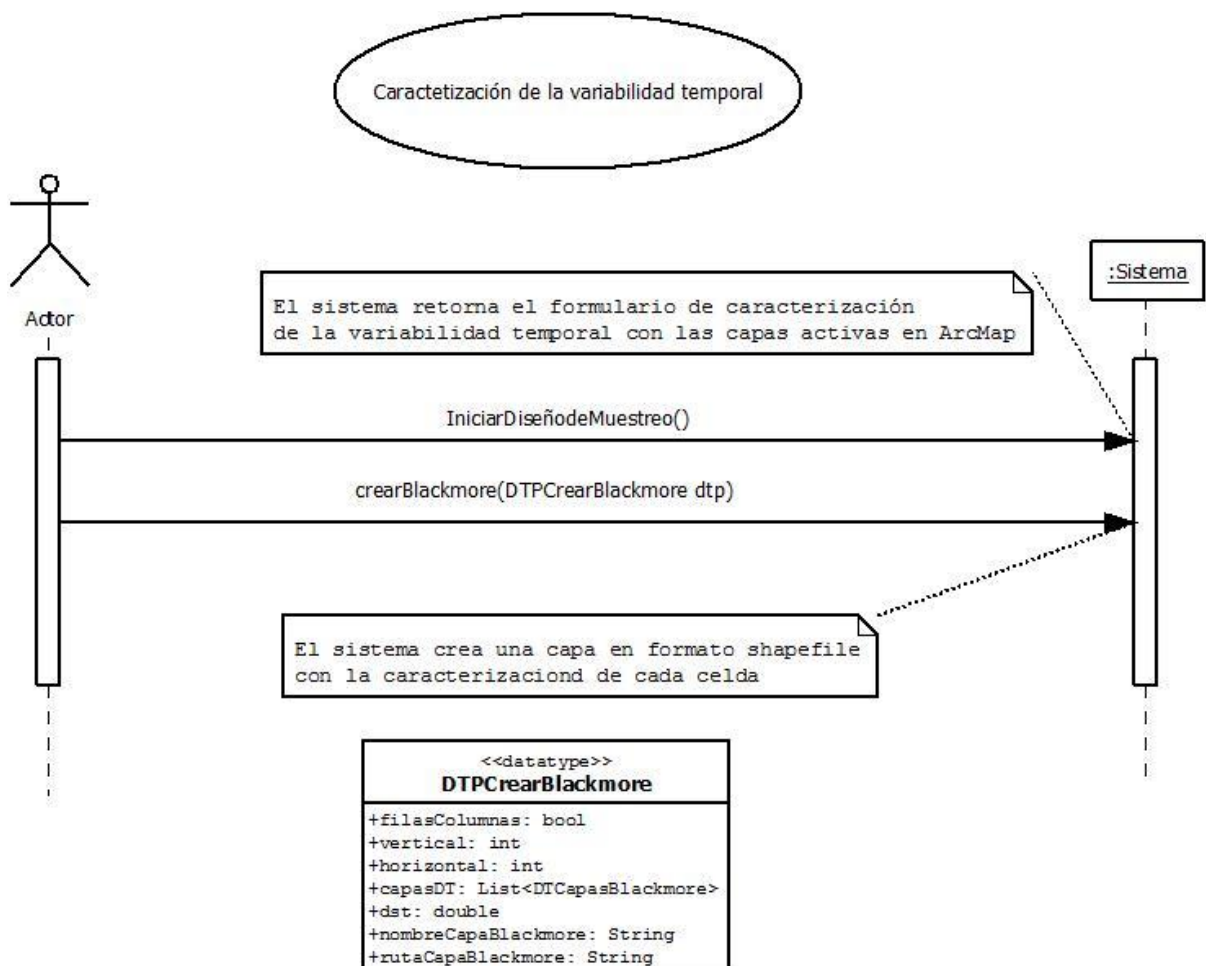
5.2.1.1. Diagrama de Casos de Uso relevantes a la Arquitectura



¹³ Anexo: Sección 4.1

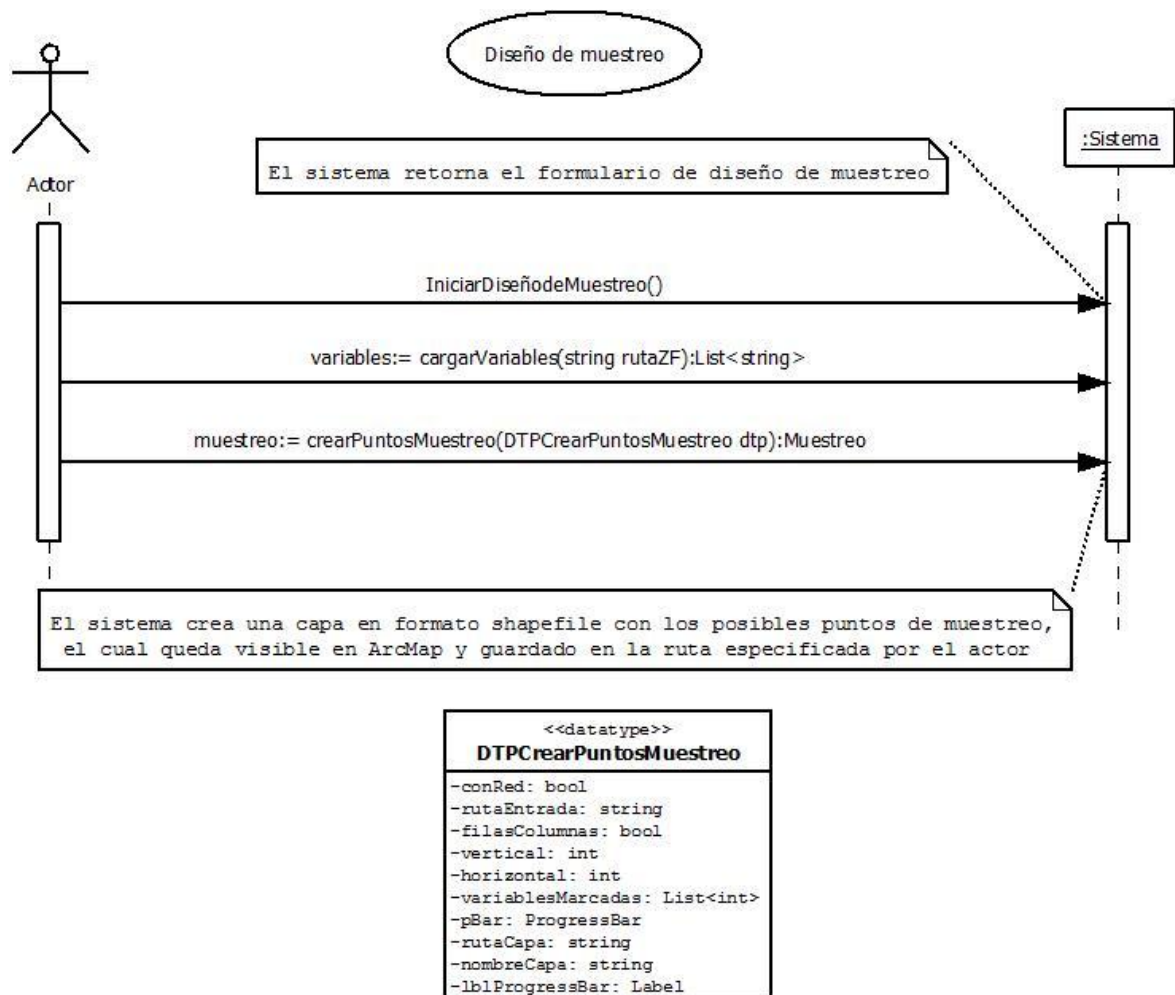
5.2.1.2. Caracterización de la variabilidad temporal

Diagrama de secuencia del sistema



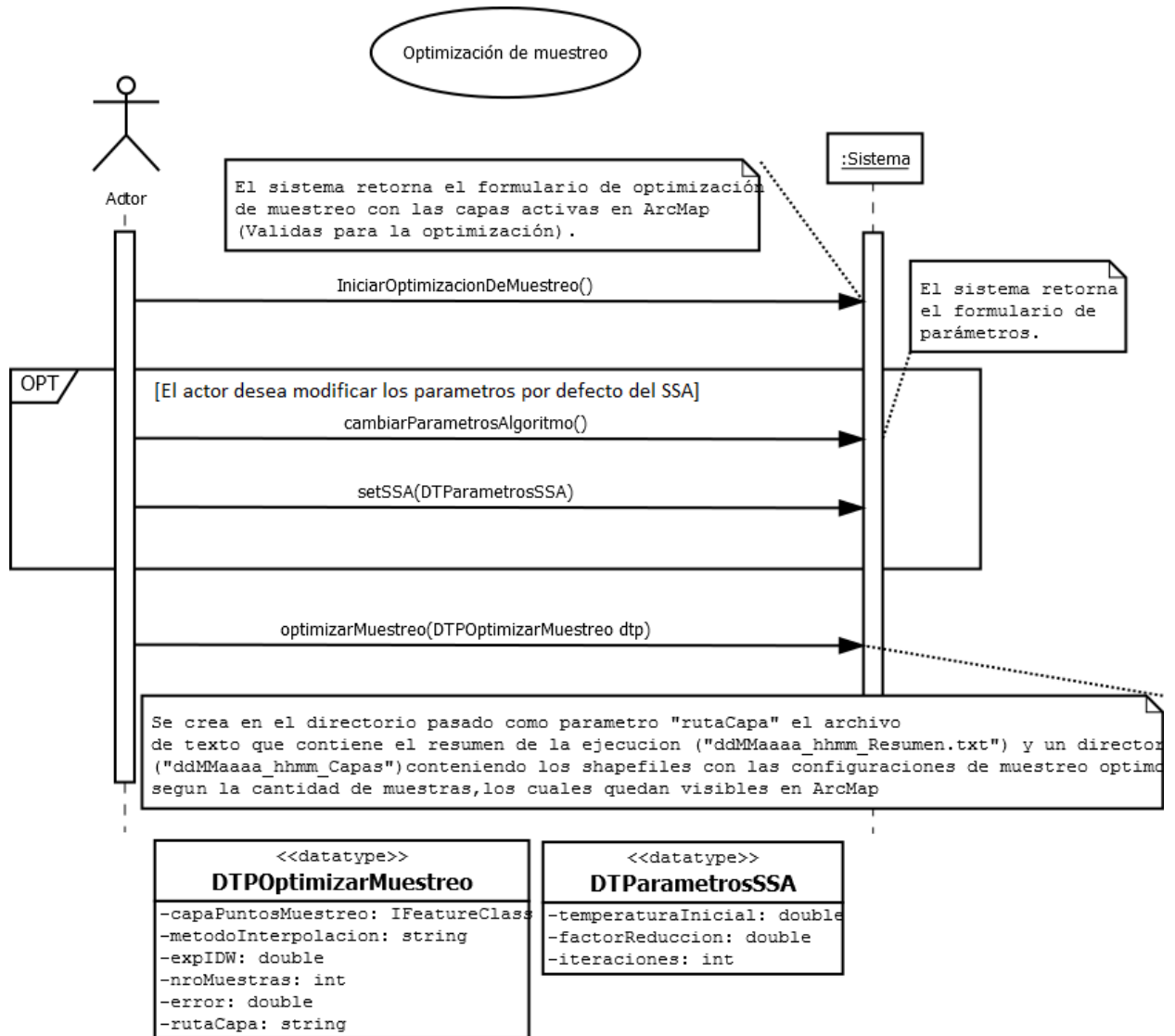
5.2.1.3. Diseño de muestreo

Diagrama de secuencia del sistema



5.2.1.4. Optimizar muestreo

Diagrama de secuencia del sistema

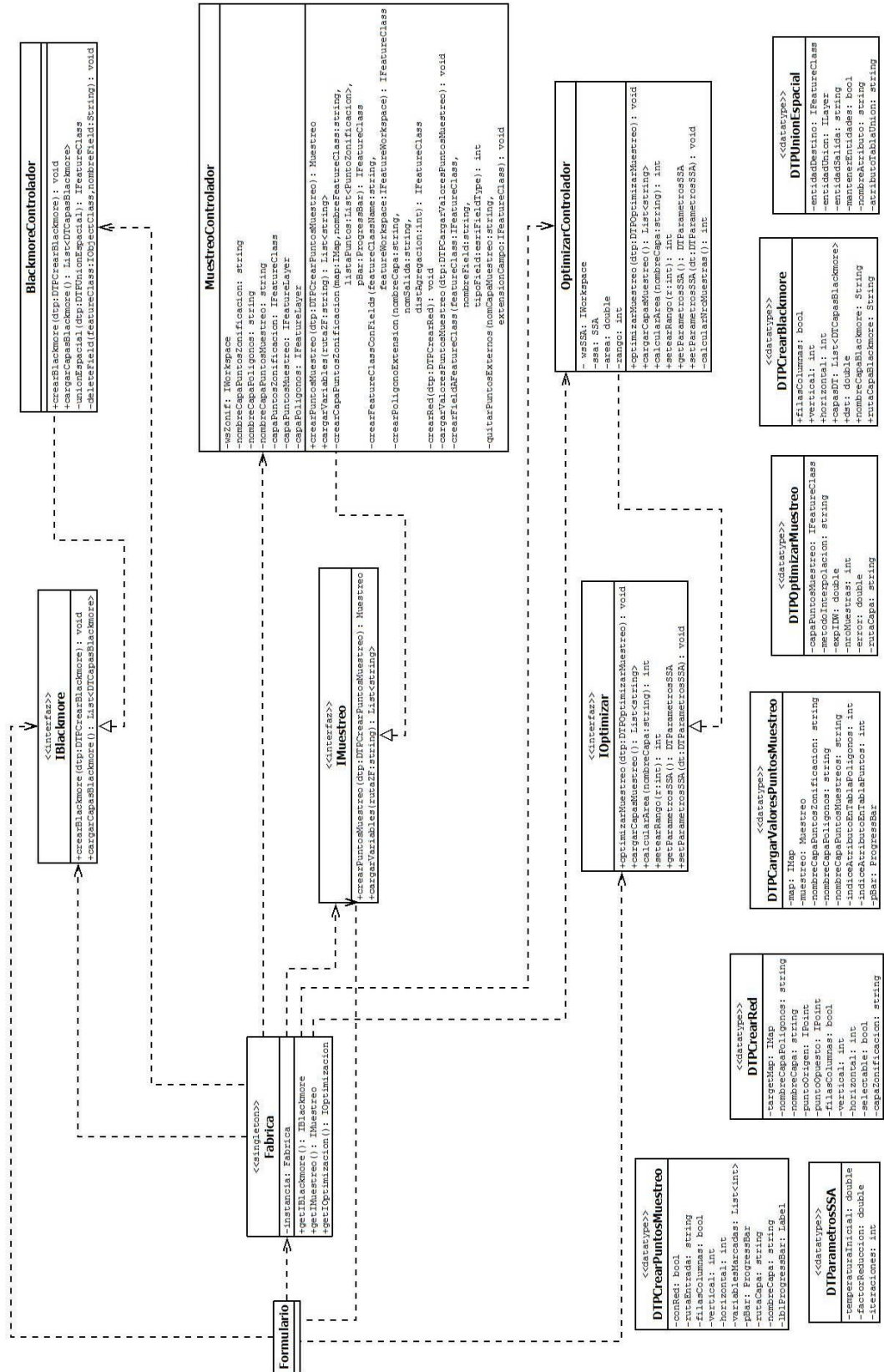


5.2.2. Diseño de objetos

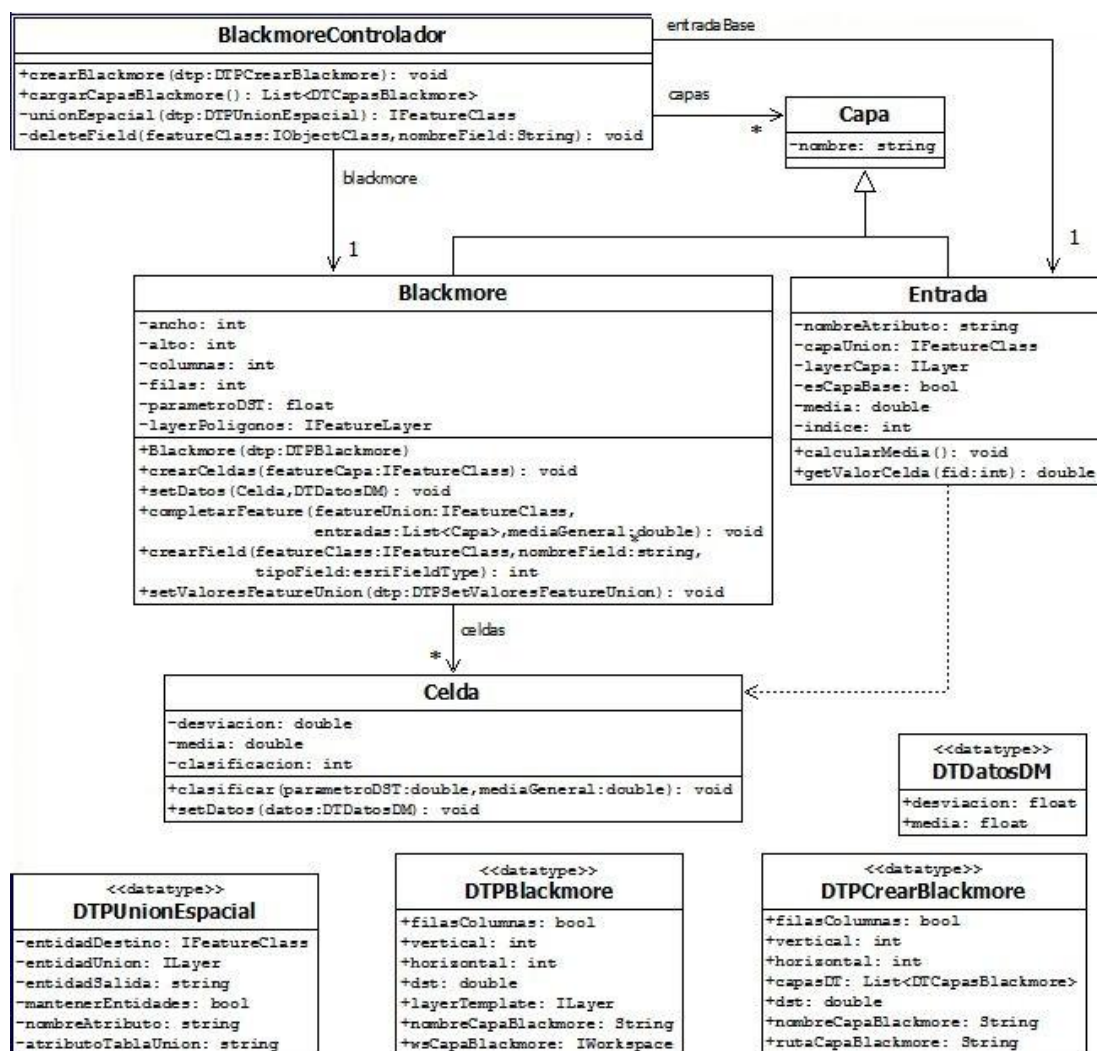
En esta subsección, se describe el diseño de objetos¹⁴ del sistema. Se definió en base a parámetros, reglas, operaciones que realiza, requerimientos de implementación, interface de usuario y relaciones con otros objetos.

¹⁴ Un objeto de diseño es una abstracción de un objeto o varios objetos en la implementación del sistema

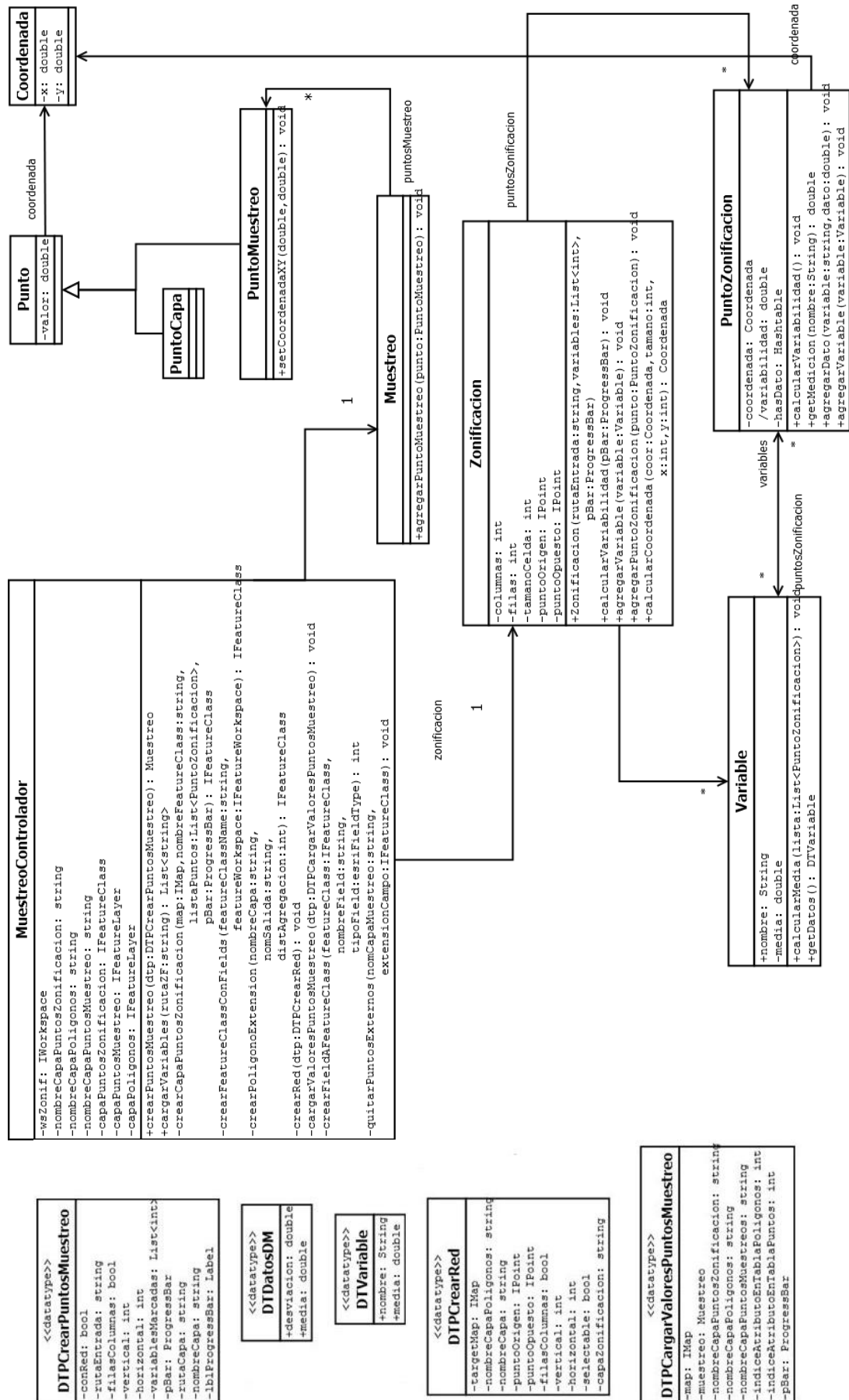
5.2.2.1. Sistema



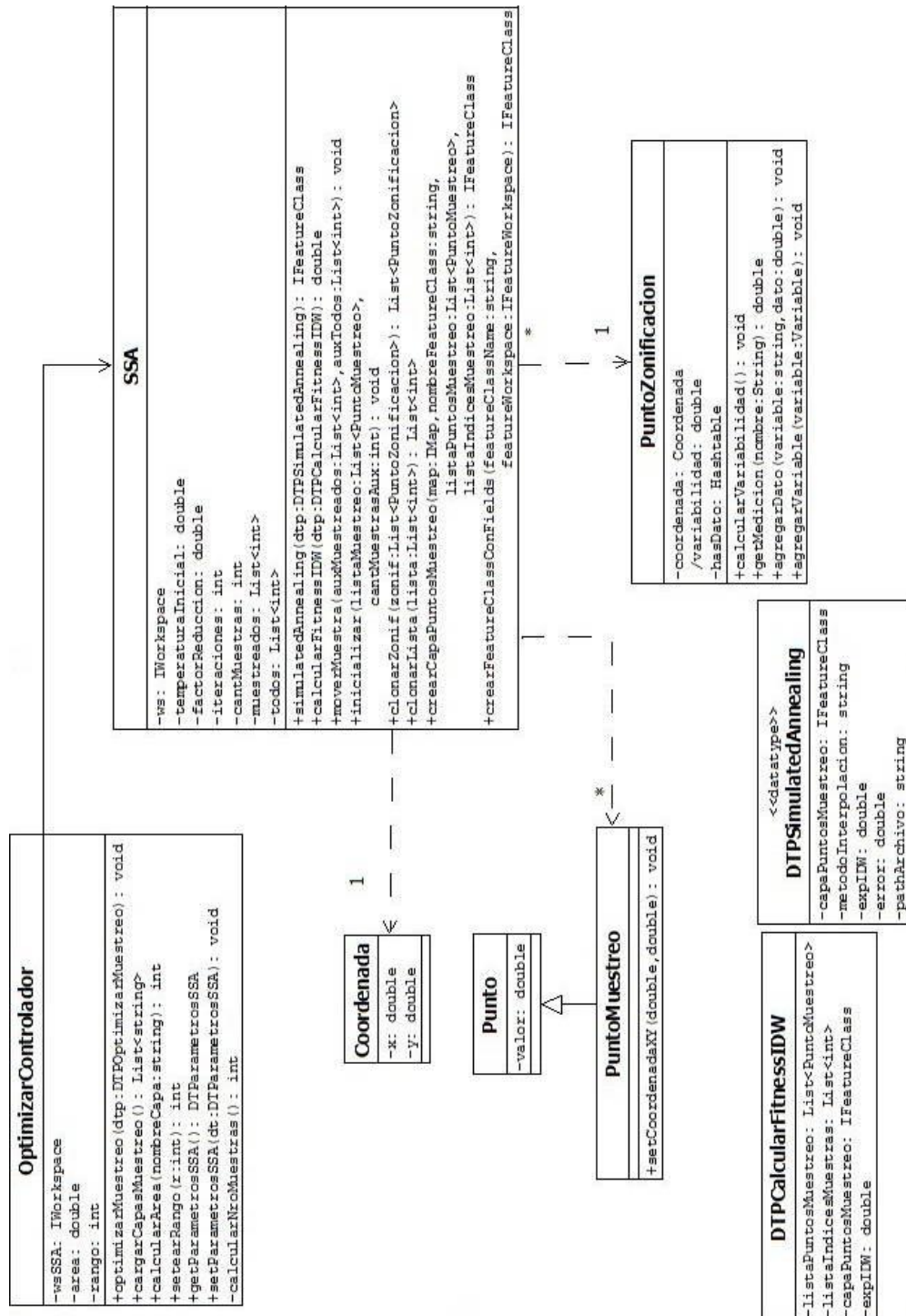
5.2.2.2. Módulo 1



5.2.2.3. Módulo 2



5.2.2.4. Módulo 3



5.2.3. Interfaz de usuario

En esta subsección se describe el diseño detallado del comportamiento de la interfaz de usuario a partir de la especificación de requerimientos y de las pautas establecidas para las interfaces.

Los formatos de las pantallas de cada módulo son los siguientes:

Pantalla de módulo *Caracterización de la variabilidad temporal*:

The screenshot shows a dialog box titled "Blackmore - Variabilidad temporal". It contains a table with the following data:

Usar	Capas	Atributo
☒	Analisis_Caracterizacion	Name

Below the table, there are several input fields and buttons:

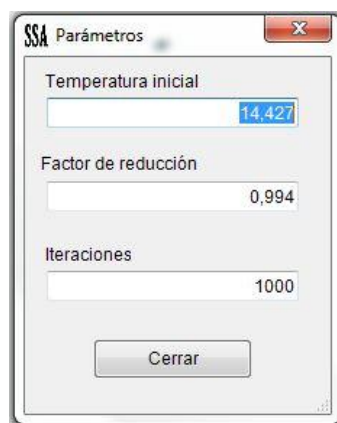
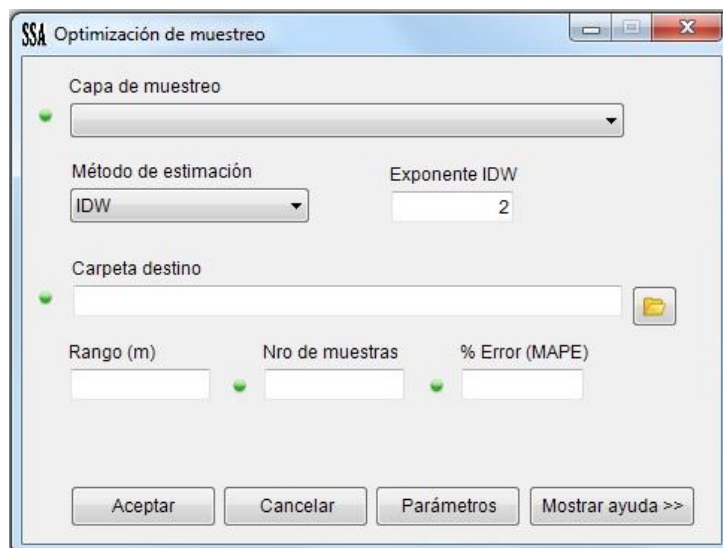
- Capa base:** A dropdown menu.
- Nivel de estabilidad:** A text input field containing the value "1".
- Tipo de red:** A dropdown menu with "Cantidad de celdas" selected.
- Filas:** A text input field.
- Columnas:** A text input field.
- Ruta destino de capa:** A text input field with a folder icon to its right.
- Buttons:** "Aceptar", "Cancelar", and "Mostrar ayuda >>" at the bottom.

Pantalla de módulo *Diseño de Muestreo*:

The screenshot shows a dialog box titled "Puntos de muestreo". It contains the following fields and controls:

- Archivo de zonificación:** A text input field with a folder icon to its right.
- Variables:** A large empty text area.
- Tipo de red:** A dropdown menu with "Cantidad de celdas" selected.
- Sin generalización:** An unchecked checkbox.
- Filas:** A text input field.
- Columnas:** A text input field.
- Capa de muestreo:** A text input field with a folder icon to its right.
- Buttons:** "Aceptar", "Cancelar", and "Mostrar ayuda >>" at the bottom.

Pantallas del módulo *Optimizar Muestreo*:

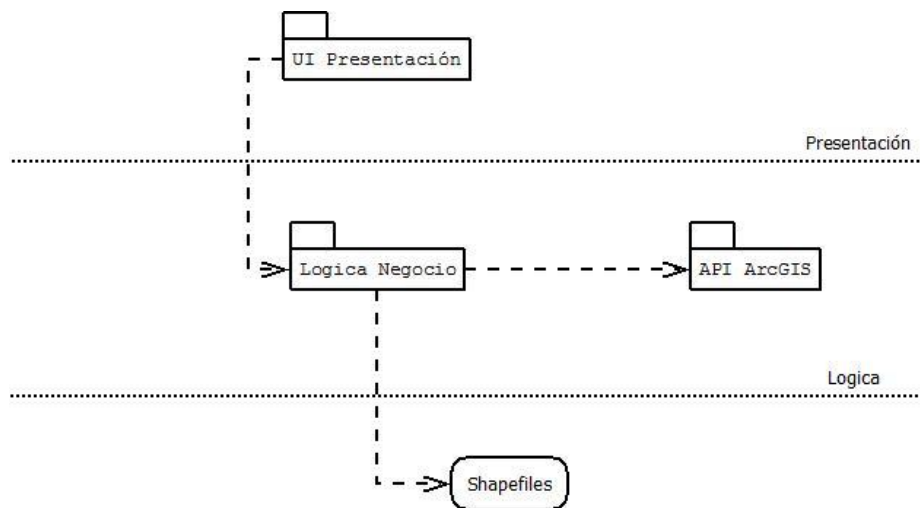


Para utilizar alguno de los tres módulos disponibles se debe seleccionar el que corresponda del menú que se marca en la siguiente figura [1]. No hay navegación entre las pantallas, dentro de las mismas, la navegación se puede realizar utilizando el mouse o tabulador

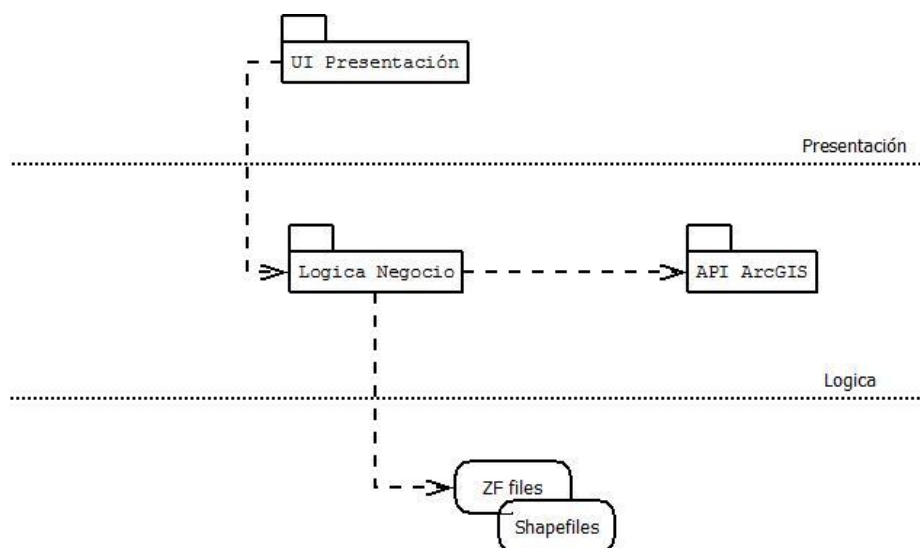


5.2.4. Trazabilidad desde el Modelo de Casos de Uso al Modelo de Diseño

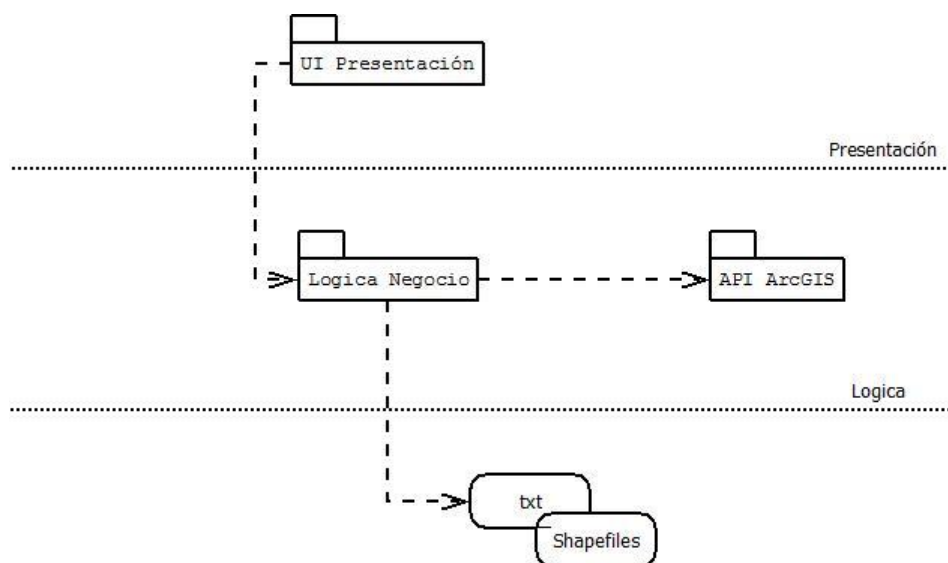
5.2.4.1. Caracterización de la variabilidad temporal



5.2.4.2. Diseño de Muestreo

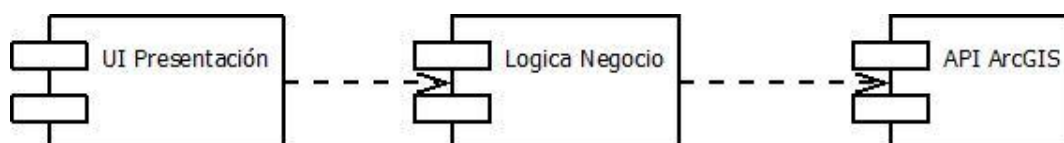


5.2.4.3. Optimización de Muestreo



5.2.5. Vista del Modelo de Diseño

5.2.5.1. Descomposición en subsistemas



UI Presentación

Tiene la interfaz de usuario. Hay una interfaz para cada uno de los submódulos. Las mismas se encargan de mostrar los componentes gráficos pero no implementan ninguna parte de la lógica del negocio, para ello consumen servicios que proporciona el subsistema Lógica Negocio. Su implementación se realizó mediante el IDE de visual studio 2010.

Lógica Negocio

Es el encargado de realizar la lógica de la aplicación. Manipula distintos tipos de datos (shapefiles, ZF files, txt) y mediante la utilización de algoritmos definidos realiza la caracterización de la variabilidad temporal (basado en el estudio de Blackmore), define posibles puntos de muestreo (agrupando datos de entrada según parámetros seleccionados por el usuario como por ejemplo variables a

utilizar en el estudio, y tipo de red a crear para realizar la agrupación antes mencionada), y optimiza la cantidad de puntos a muestrear (utilizando el algoritmo SSA) definiendo cantidad y ubicación óptima de los mismos. Para llevar a cabo todas las actividades antes mencionadas, la implementación consume servicios de la API de ArcGIS. Más detalle en el documento modelo de diseño¹⁵.

API ArcGIS

Es una biblioteca de ayuda para programadores y desarrolladores de aplicaciones que trabajan con ArcGIS. Provee una gran cantidad de funcionalidades ya implementadas que facilitan la tarea de crear, editar, analizar y visualizar datos geográficos, facilitando de esta manera la implementación de add-ins y aplicaciones de ArcGIS personalizadas.

5.3. Implementación

5.3.1. Archivo ZF

El archivo de zonificación ZF es la entrada del módulo 2 y su estructura se describe a continuación.

```
[PDT-SIGA: Zone File]
Rows: <Cantidad de filas con que se representa el campo>
Cols: <Cantidad de columnas con que representa el campo>
CoordX: <Coordenada en X>
CoordY: <Coordenada en Y>
CellSize: <Tamaño de la celda>
[Variables]
VarQty: <Cantidad de variables>
Var1: <nombre de la variable 1>
Var2: <nombre de la variable 2>
.
VarN: <nombre de la variable N>
[Cells]
valVar1_11;valVar2_11;...;valVarN_11
valVar1_12;valVar2_12;...;valVarN_12
valVar1_13;valVar2_13;...;valVarN_13
.
valVar1_21;valVar2_21;...;valVarN_21
valVar1_22;valVar2_22;...;valVarN_22
valVar1_23;valVar2_23;...;valVarN_23
.
.
```

¹⁵ Anexo: Sección 4.1

En el tag ([PDT-SIGA: Zone File]) se tiene la información del cabezal del archivo, la cantidad de filas, cantidad de columnas de la matriz con que representa el campo, las coordenadas X e Y, y las coordenadas del punto superior izquierdo del campo y el tamaño de la celda en metros (m).

Ejemplo:

```
[PDT-SIGA: Zone File]
Rows: 194
Cols: 338
CoordX: 432497,374984486
CoordY: 6331683,11163356
CellSize: 10
```

El tag [Variables] representa el punto de partida para la declaración de las variables a considerarse en el análisis. Notar que la palabra reservada `VarQty` indica la cantidad total de variables.

Ejemplo:

```
[Variables]
VarQty: 11
Var1: OKPBrnoO_N.img
Var2: K_N.img
Var3: IPErosivo_N.img
Var4: IDW_MOrg_N.img
Var5: idw_macrbl_N.img
Var6: IDW_MacrA_N.img
Var7: IDW_DAp_A_N.img
Var8: IDW_DApHB_N.img
Var9: DEM_15m_N.img
Var10: pH_H2O_N.img
Var11: Orientacion.img
```

Finalmente bajo el tag [Cells] se presentan los datos para cada celda. Cada celda queda definida en una línea. En caso de que no exista dato para alguna variable en una celda en particular, se indica mediante la palabra reservada NaN (Not a Number)

Ejemplo:

```
[Cells]
valVar1_11;valVar2_11;valVar3_11;valVar4_11;valVar5_11
valVar1_12;valVar2_12;valVar3_12;valVar4_12;valVar5_12
valVar1_21;valVar2_21;valVar3_21;valVar4_21;valVar5_21
valVar1_22;valVar2_22;valVar3_22;valVar4_22;valVar5_22
```

5.3.2. Archivo resumen de ejecución

El módulo 3 genera como salida un archivo de texto que contiene un resumen de la ejecución. A continuación se muestra su estructura y contenido.

Para comenzar se describe la fecha de la ejecución.

Ejemplo:

```
Fecha de creacion del archivo 11/06/2013 00:51
Estadisticas del Muestreo
```

Luego para cada capa generada se detallan los datos mostrando nombre de la capa creada, cantidad de muestras de la capa, porcentaje de error y cantidad de iteraciones consumidas.

Ejemplo:

```
Nombre Capa: MO10_11062013_005103
Cantidad de Muestras: 10
Error: 17,28 %
Iteraciones: 100
```

5.3.3. Ambiente de desarrollo

El sistema fue desarrollado con en lenguaje de programación orientado a objetos C#. Dado que ESRI provee el kit de desarrollo (SDK) de add-ins para ArcGIS 10.0. (ArcObjects SDK for the Microsoft .NET Framework), el IDE de desarrollo fue Microsoft Visual Studio 2010 Ultimate con framework 3.5 sobre el sistema operativo Windows 7 de 64 bits. El diseño orientado a objetos del sistema fue modelado en el lenguaje UML 2.0 [25], utilizando la herramienta DIA versión 0.97.2 en su versión open source para la creación de los diferentes diagramas. [18]

Para el control de versionado del código fuente, recurrimos al servicio de alojamiento de repositorios de software GitHub [22]. Este repositorio utiliza el software de control de versiones Git versión 1.8.0 – preview20121022, integrado a Visual Studio 2010 mediante la extensión gráfica Git Extensions versión 2.43.

La documentación de todo el proceso de desarrollo del software, se realizó de acuerdo a las plantillas definidas en el modelo de proceso utilizado (Modelos de Proceso Modularizado Unificado y Medible) usando Microsoft Word 2007 como editor de texto. La herramienta de repositorio utilizada para estos documentos fue Dropbox [19].

Capítulo 6

Implantación y Pruebas

Se describen las actividades planificadas en la implantación, los recursos necesarios, y como fue realizada la puesta en producción. Además se incluyen las tareas llevadas a cabo en el testing del producto, plan de verificación¹⁶, gestión de incidentes, diseños de casos de prueba y sus resultados.

6.1. *Implantación*

Esta sección detalla el plan de implantación del producto, se incluye información sobre recursos necesarios, documentación entregada y como fue realizada la puesta en producción.

6.1.1. Responsabilidades

Se definieron las responsabilidades del cliente y el equipo de desarrollo en la preparación para la liberación del producto de forma satisfactoria.

El cliente asumió la responsabilidad de proveer datos para realizar las pruebas del producto en la fase de verificación del mismo, como así también los recursos de hardware y software adecuados para poder instalar y ejecutar las diferentes funcionalidades de la aplicación al momento de la puesta en producción.

El equipo de desarrollo asumió la responsabilidad de entregar al cliente un producto que cumpla los requerimientos establecidos, e instalar el mismo en la infraestructura brindada por el cliente. Además entregar la documentación del proceso de desarrollo que respalda la construcción del sistema.

6.1.2. Consideraciones especiales

Aunque al comienzo del proyecto se había definido que la herramienta implementada debería ser compatible con la versión ArcGIS 10.0, el cliente realizó una actualización del software ArcGIS, migrando a la versión ArcGIS 10.1. Este cambio se sucedió finalizando la etapa de construcción del sistema, el

¹⁶ Anexo: Sección 6.1

impacto en la calidad del producto fue alto, pues las funcionalidades provistas por la API de ArcGIS tuvieron cambios significativos y como consecuencia también las funcionalidades implementadas en el producto. En ese momento tuvimos que tomar una decisión interna al grupo. Había dos opciones, apoyarnos en la especificación de requerimientos y no cambiar la implementación ya realizada, aunque el producto no cumpliera los requerimientos establecidos en la versión ArcGIS 10.1. Otra opción posible era realizar un trabajo extra para migrar la implementación, con el objetivo que el producto implementado cumpliera los requerimientos establecidos para la versión ArcGIS 10.1. Se decidió realizar la migración de la implementación, aunque esto causó atrasos en el cronograma del proyecto, nos dio la posibilidad de entregar un producto de calidad, que realmente será útil para el cliente.

6.1.3. Planificación

Se definió un cronograma en el documento Plan de implantación¹⁷ para conducir las actividades de la implantación en el ambiente del cliente. En el mismo se incluyeron los períodos de tiempo necesarios en planificar la implantación, realizar la verificación en ambiente de desarrollo y desarrollar el material para soporte al usuario. Además se establecieron las fechas para producir las versiones de prueba del producto, producir la versión final del producto y su verificación en un ambiente creado con las especificaciones del ambiente del cliente. Posteriormente, teniendo en cuenta la disponibilidad del cliente, se definió la fecha de presentación del sistema.

6.1.4. Recursos

En esta subsección se identifican los recursos de hardware y software necesarios para llevar a cabo las actividades planificadas para la implantación.

6.1.4.1. Hardware

Se necesitan equipos que cumplan los requisitos necesarios para ArcGIS 10.0.
[20]

¹⁷ Anexo: Sección 7.2

6.1.4.2. Software

El software de apoyo necesario está disponible en la página web de ArcGIS. [20]

6.1.5. Unidad liberada

Los artefactos que fueron entregados al cliente son los siguientes:

- ESRI AddIn File: es el objeto generado a partir del código fuente, necesario para la instalación del add-in.
- Código fuente.
- Documentación del proceso de desarrollo y manual de usuario del producto.

6.2. Pruebas

6.2.1. Propósito y Alcance

La verificación tiene por objetivo descubrir defectos en el software para corregirlos y evaluar la calidad del producto. A su vez asegurar que el producto cumple con los requerimientos funcionales y no funcionales que el cliente especifica.

El proceso de verificación de la herramienta de optimización de muestreo consta de los siguientes tipos de prueba:

- **Diseño:** se verificó que el diseño y la arquitectura utilizan buenas prácticas, además que el código fuente sea legible, con comentarios que ayuden su comprensión.
- **Unitaria:** se verificaron en forma unitaria los componentes del sistema, con el objetivo de asegurar el correcto funcionamiento de cada uno de los módulos por separado. Estas pruebas fueron realizadas por cada implementador. No fueron documentadas en detalle, pero los incidentes encontrados al realizar las mismas fueron registrados en el sistema de gestión de incidentes¹⁸ del equipo. Además se realizó en forma grupal, la técnica estática de análisis de código por recorridas, en la cual el código fue revisado simulando la ejecución del mismo.

¹⁸ Gestión de incidentes.xls

- Pruebas del Sistema: se realizaron para verificar que el sistema cumple con sus requerimientos específicos.

El tipo de pruebas realizadas fueron:

- Funcional: teniendo en cuenta el alcance del producto, se verificó que el sistema implementa todas las funcionalidades descritas en el documento de especificación de requerimientos, mediante el diseño y ejecución de casos de prueba.
- Usabilidad.
- Configuración: se verificó que el add-in puede ser integrado correctamente en ArcMap versiones 10.0 y 10.1.
- Volumen: prueba el sistema con un gran volumen de datos.
- Aceptación: Fue realizada en forma conjunta con el cliente, para verificar que el sistema cumple con sus expectativas.

6.2.2. Gestión de Incidentes

6.2.2.1. Niveles de gravedad de incidentes

En muchas actividades del proceso de verificación se deben clasificar los errores según su nivel de gravedad, para poder capturar de alguna manera su impacto en el sistema. El criterio de clasificación adoptado para los errores fue el siguiente:

Catastrófico: un error cuya presencia impide el uso del sistema.

Crítico: un error cuya presencia causa la pérdida de una funcionalidad crítica del sistema. Si no se corrige el sistema no satisfará las necesidades del cliente.

Marginal: un error que causa un daño menor, produciendo pérdida de efectividad, pérdida de disponibilidad o degradación de una funcionalidad que no se realiza fácilmente de otra manera.

Menor: un error que no causa perjuicio al sistema, pero que requiere mantenimiento o reparación. No causa pérdida de funcionalidades que no se puedan realizar de otra manera.

6.2.2.2. Procedimiento de reporte de incidentes

Para la gestión de incidentes del producto se utilizó una planilla Excel¹⁹, en la misma se reportaron todos los incidentes encontrados en el producto.

De cada incidente se registraba:

- Severidad identificada del incidente para el producto.
- Estado del incidente.
- Fecha en que se reportó.
- Fecha de cierre.
- Funcionalidad afectada por el incidente.
- Fase en que se reportó el incidente.
- Revisor.
- Módulo afectado por el incidente.

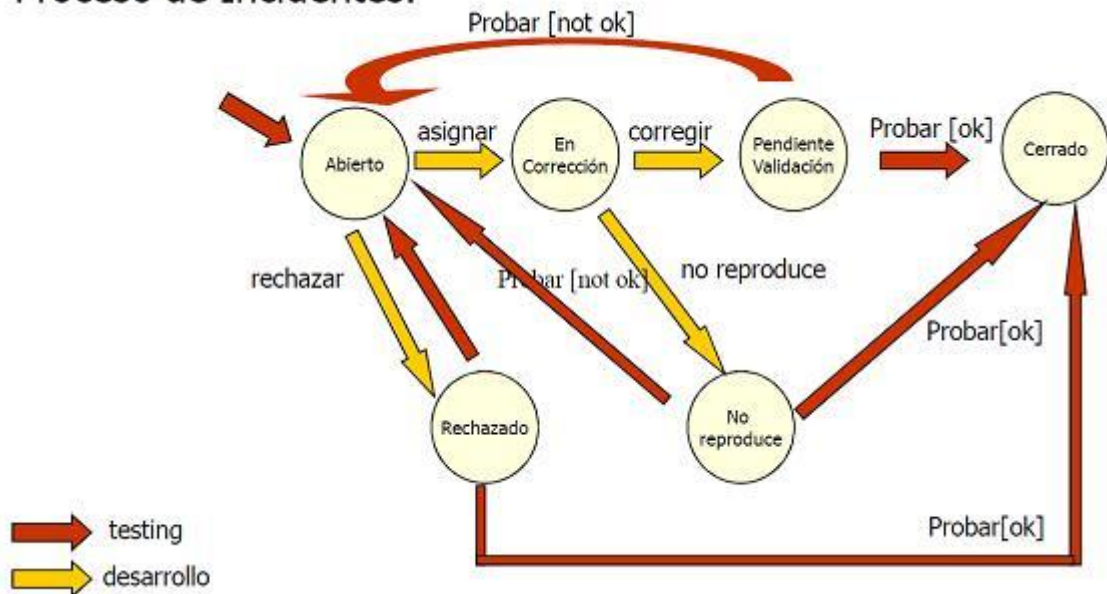
El sistema de seguimiento de incidentes nos permitió:

- Reportar.
- Administrar.
- Analizar los incidentes reportados y la tendencia de los mismos.

A continuación se detalla el proceso de incidentes utilizado, representado mediante una maquina de estados

¹⁹ Gestión de incidentes.xls

Proceso de Incidentes:



Material teórico, Taller de verificación de software, Fing-UdelaR, 2011[21]

6.2.3. Diseño de casos de prueba

Para diseñar los casos de prueba se realizaron los siguientes pasos:

- Se listaron las funcionalidades del sistema que se debían verificar
- Se describieron los casos de uso de cada funcionalidad que componen el sistema
- Se planteó la matriz de escenarios correspondiente a cada caso, es decir todas las combinaciones posibles del flujo normal de los eventos y los flujos alternativos.
- Se plantearon las condiciones que causan que se ejecute cada escenario específico, indicando el resultado esperado de ejecutar cada pareja Escenario-Condición.
- Se seleccionaron los datos correspondientes para cada caso de prueba.

El conjunto de casos de prueba diseñados se pueden ver en detalle en el documento Modelo de casos de prueba²⁰. Cabe mencionar que luego de cada liberación del sistema, se realizaron las correspondientes pruebas de regresión, ejecutando el total de los casos de prueba diseñados y registrando los resultados obtenidos en el documento Informe de verificación del sistema²¹.

²⁰ Anexo: Sección 6.2

²¹ Anexo: Sección 6.3

6.2.4. Resultados

6.2.4.1. Pruebas unitarias

La siguiente tabla resume la cantidad de errores encontrados a lo largo del proyecto mediante las pruebas unitarias, clasificándolos según nivel de gravedad de cada error y el módulo en el cual fue identificado.

	Cantidad de errores encontrados			
Nivel de gravedad de error	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Totales
Catastrófico	0	0	0	0
Critico	3	4	4	11
Marginal	1	2	5	8
Menor	3	9	11	23

6.2.4.2. Pruebas de volumen

Las pruebas de volumen someten el software a grandes cantidades de datos para determinar si se alcanzan límites que causen la falla del software. Estas pruebas identifican la carga máxima continua que puede manejar el software a prueba en un período dado.

Con el objetivo de analizar el comportamiento de la herramienta al procesar un gran conjunto de datos, se realizó sobre un mismo campo la optimización de muestreo, incrementando la cantidad de puntos de muestreos, la cantidad de muestras y el número de iteraciones.

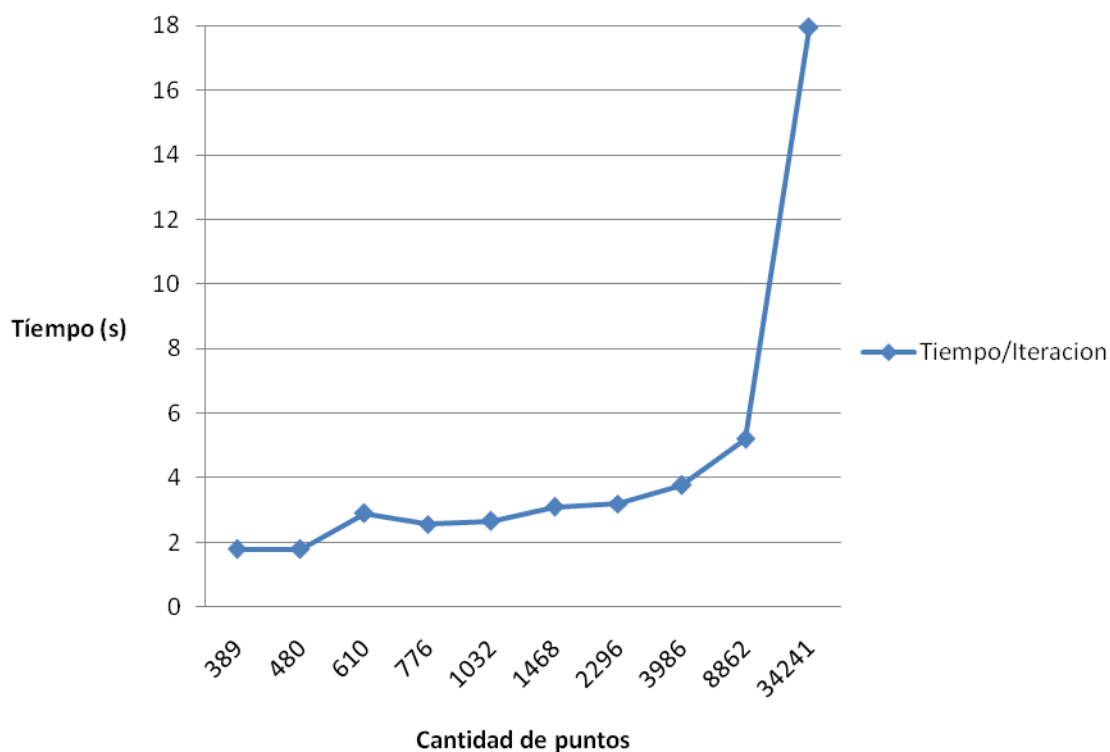
A continuación se presenta una tabla con los valores obtenidos.

Numero de Muestras	Generalización	Cantidad de Puntos	Cantidad de Iteraciones	Tiempo total (segundos)	Tiempo/iteración (segundos)
10	100 m	389	100	334	3.34
100	100 m	389	100	321	3.21
10	100 m	389	1000	2481	2.48
100	100 m	389	1000	2298	2.29
10	50 m	1468	100	311	3.11
100	50 m	1468	100	238	2.38
10	50 m	1468	1000	2334	2.33
100	50 m	1468	1000	2952	2.95
10	No	34241	100	1794	17.94
100	No	34241	100	1549	15.49
10	No	34241	1000	15477	15.47
100	No	34241	1000	13644	13.64

Luego de analizar los datos de la tabla podemos concluir que el tiempo/iteración del algoritmo depende directamente de la cantidad de puntos de la capa de estudio y en menor medida en el número de muestras seleccionado.

Para tener una mejor perspectiva de la relación entre la cantidad de puntos y el tiempo/iteración que emplea el algoritmo de optimización, se ejecutaron un conjunto de pruebas cuyos resultados se pueden ver en la siguiente tabla y grafica.

Numero de Muestras	Generalización	Cantidad de Puntos	Cantidad de Iteraciones	Tiempo total (segundos)	Tiempo/iteración (segundos)
10	100 m	389	100	179	1.79
10	90 m	480	100	180	1.80
10	80 m	610	100	291	2.91
10	70 m	776	100	257	2.57
10	60 m	1032	100	267	2.67
10	50 m	1468	100	311	3.11
10	40 m	2296	100	320	3.20
10	30 m	3986	100	378	3.78
10	20 m	8862	100	520	5.2
10	No (10 m)	34241	100	1794	17.94



Como resultado del análisis podemos concluir que en el entorno de los 4000 puntos, el tiempo/iteración del algoritmo es estable estando por debajo de los 4 segundos por iteración. El cliente se mostró conforme con la performance de la herramienta.

6.2.4.3. Pruebas de Instalación

Se verificó que el software objeto de prueba se instala correctamente en la versión de ArcGIS definida en el documento de especificación de requerimientos²². Esta prueba consistió en:

- Conseguir una PC que cumpla con los requerimientos de hardware y software requeridos por ArcGIS 10.1²³ y que no tenga instalado el software ArcGIS especificado en el documento de especificación de requerimientos.

²² Anexo: Sección 3.1

²³ <http://resources.arcgis.com/es/content/arcgisdesktop/10.0/arcgis-desktop-system-requirements#ArcGISDesktop-HardwareRequirements>

- Instalar la versión de ArcGIS especificada en el documento de especificación de requerimientos, descargando la versión de evaluación de la página oficial de ArcGIS²⁴
- Instalar el add-in en el conjunto de herramientas de ArcMap.
- Verificar su correcta instalación mediante la ejecución un conjunto de pruebas funcionales ya implementadas en la herramienta.

6.2.4.4. Pruebas del Sistema

En la fase de transición se destinó una gran carga horaria a tareas de verificación. La metodología de trabajo fue la siguiente:

- Liberar versión del producto.
- Ejecutar todos los casos de prueba elaborados.
- Identificar y reportar incidentes.
- Evaluar cada incidente y realizar los cambios necesarios para corregirlos.

Este ciclo se realizó dos veces.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en cada una de las versiones liberadas del producto.

Versión 1.0

Pruebas sobre CU	Caracterización de la variabilidad temporal	Diseño de muestreo	Optimización de muestreo	Total
Casos planificados	13	18	27	58
Casos Ejecutados	13	18	27	58
Incidentes				
Menor	1	0	5	6
Marginal	1	2	1	4
Critico	0	1	4	5
Catastrófico	0	0	0	0
Total	2	3	10	15

²⁴ <http://www.arcgis.com/about/>

Versión 2.0

Pruebas sobre CU	Caracterización de la variabilidad temporal	Diseño de muestreo	Optimización de muestreo	Total
Casos planificados	13	18	27	58
Casos Ejecutados	13	18	27	58
Incidentes				
Menor	1	1	0	2
Marginal	0	0	0	0
Critico	0	0	0	0
Catastrófico	0	0	0	0
Total	1	1	0	2

En esta segunda versión, las funcionalidades del sistema ejecutaron correctamente, aunque se detectaron dos errores de gravedad menor. Estos errores no fueron corregidos porque fueron considerados en particular dos aspectos:

- Los niveles de gravedad de los errores son menores.
- El tiempo que insume la ejecución de las pruebas de regresión, necesarias para asegurar que no se introdujeron nuevas anomalías en el producto al realizar cambios en el mismo.

La descripción de los errores antes mencionado, junto a su posible solución y demás información pertinente a las pruebas finales del sistema se pueden ver en detalle en el Informe final de verificación²⁵.

6.2.4.5. Evaluación final del Sistema

Se verificó la conformidad del responsable del proyecto mediante una reunión, en la cual se revisó el manual de usuario creado y se ejecutaron casos de prueba sobre el producto.

Nivel de aceptación del sistema se considera **APROBADO**

²⁵ Anexo: Sección 6.4

Capítulo 7

Conclusiones

Se logró cumplir los objetivos del proyecto desarrollando una herramienta que permite caracterizar la variabilidad espacio-temporal y además realiza la optimización de muestreo de un campo mediante el algoritmo Spatial Simulated Annealing. La herramienta fue presentada al cliente, obteniendo su aprobación. Esta herramienta podrá ser utilizada como apoyo en la toma de decisiones para decidir el manejo de un campo

Para poder llevarlo a cabo se realizó una investigación exhaustiva de distintos métodos de enfoque para resolver el problema planteado. Esta etapa requirió de más tiempo de lo planeado, ya que los temas abordados no eran de nuestro conocimiento.

Se diseñó la herramienta teniendo en cuenta la extensibilidad, mantenibilidad y adaptabilidad. La decisión arquitectónica de implementar tres módulos independientes permitirá en un futuro poder realizar una extensión o modificación de las mismas sin mayores complicaciones.

La elección de desarrollar un add-in utilizando el SDK de ArcObjects para .NET fue acertada. Este nos brindó una gran ayuda en la etapa de implementación, ya que asiste al programador en la codificación de las aplicaciones, brindando las mejores prácticas, documentación, secciones de código y ejemplos.

Algo a tener en cuenta a la hora de desarrollar extensiones para ArcGIS, es el cambio de versiones. Se contaba con una extensión desarrollada para un proyecto de grado anterior, que iba a ser utilizada para la generación de datos de prueba en la etapa de verificación, ya que generaba los archivos de zonificación. Dicha extensión había sido desarrollada para la versión 9 de ArcMap y al momento de intentar instalarla en la versión 10.0 (versión en la que desarrollamos) no tuvimos éxito.

Otro problema que surgió con el tema del versionado, fue que finalizando la etapa de implementación, el cliente contaba en su PC con la versión 10.1 (versión que se liberó durante el desarrollo del proyecto). Al intentar instalar nuestra extensión en la nueva versión también tuvimos problemas. Luego de varias pruebas se pudo comprobar que algunos de los métodos provistos por el SDK para la versión 10.0

no funcionaban en la 10.1, por lo que se tuvo corregir este problema para que nuestra extensión sea compatible con ambas versiones.

Un aspecto a tener en cuenta, es la importancia de contar con un conjunto de datos de prueba en la etapa de verificación, que permitan realizar la totalidad de las pruebas planificadas para el producto.

En este punto tuvimos dos situaciones que resolver. Para la funcionalidad de caracterización de variabilidad espacial y temporal no se contaban con datos de prueba, por tal motivo fue necesario contactarse con un productor agrícola, el cual nos cedió los datos por tratarse de un marco académico de investigación e innovación. Además no se pudo ejecutar la extensión provista por el cliente, encargada de generar los archivos de zonificación que iban a ser utilizados como datos de prueba en la verificación de la optimización de muestreo, disponiendo solamente de dos archivos de zonificación provistos por el cliente. A pesar de esto se realizaron pruebas exhaustivas intentando cubrir todos escenarios posibles en ambas funcionalidades. Esta etapa fue de gran ayuda, ya que se encontraron varios errores que pudieron ser corregidos a tiempo.

No podemos afirmar que nuestra herramienta proveerá el mejor muestreo posible, esto deberá ser comprobado al momento de realizar el muestreo y ver los resultados obtenidos. Lo que si podemos afirmar es que la herramienta intenta seleccionar el mínimo número de muestras que representan con la mayor precisión posible el campo en estudio, y a partir de éstas permite realizar una interpolación para obtener una aproximación de todo el campo.

En Uruguay la innovación mediante tecnologías de información en el sector agrícola, es un área que no se ha desarrollado al mismo nivel que en otros países agrícolas de la región. Sin embargo por nuestra experiencia, pudimos notar que existe gran interés por el progreso de esta área, pues fuimos contactados por profesionales y organismos locales interesados en este proyecto innovador.

Capítulo 8

Trabajos a futuro

Los trabajos a futuro los podemos separar en dos áreas, por un lado funcionalidades del producto que, dado el alcance del proyecto de grado, como las prioridades del cliente, no fueron implementados y por otro, mencionar algunas características que pueden potenciar la herramienta.

8.1. *Funcionalidad no implementada*

El cliente cuenta con imágenes MODIS [23] como fuente de datos para los campos a estudiar. Estas imágenes están en formato MS EXCEL y en la etapa de recabar los requerimientos fueron mencionadas por el cliente como posible dato de entrada para la caracterización de la variabilidad. Este requerimiento fue negociado con el cliente y no quedo comprendido dentro del alcance del producto. Podría ser un gran aporte a futuro dado que la extensibilidad de la solución informática lo permite.

8.2. *Características adicionales*

Se detallan algunas características que el grupo considera que potenciaría la herramienta aumentando su productividad. Además, discutimos algunos de los siguientes puntos con gente idónea en el área y tomamos algunos de sus consejos.

8.2.1. Algoritmo de optimización

Spatial Simulated Annealing es un algoritmo búsqueda que explora aleatoriamente el espacio de posibles soluciones. De poder modificar esto último incorporándole inteligencia de forma eficiente, se podría llegar a una solución acortando los tiempos de ejecución.

8.2.2. Considerar anisotropía

Inclusión de otras medidas de variabilidad que incluyan textura, que consideren la anisotropía de las variables, que permitan seleccionar entre diferentes medidas de

variabilidad de acuerdo al procesamiento previo de los datos (ponderación desigual de distintas variables, etc.), que permita realizar muestreos polietápicos, optimizando el muestreo en sucesivas aproximaciones.

8.2.3. Error en la estimación

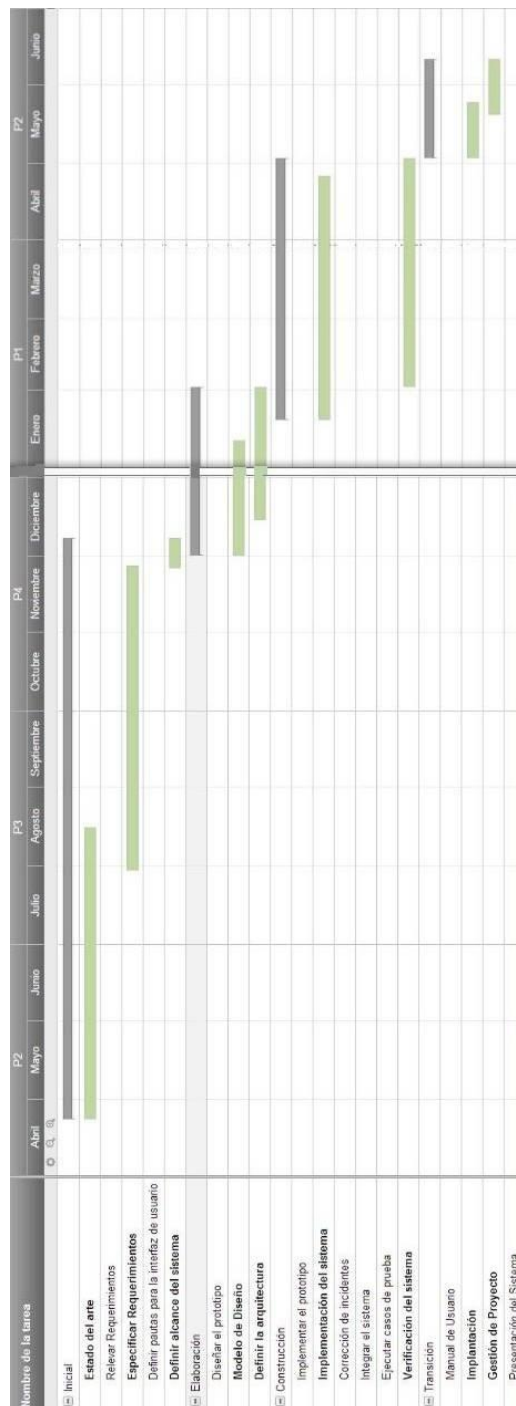
Como información complementaria y de forma de facilitar la comprensión de cada salida, se puede generar junto con cada capa de muestreo óptimo, una capa que mida el error en cada punto estimado.

Capítulo 9

Anexos y referencias

9.1. Diagrama de Gantt

El transcurso del proceso de desarrollo se muestra representado en el siguiente diagrama de Gantt junto a una breve descripción de cada una de sus fases.



9.1.1. Fase inicial

En la fase inicial el grupo entró en contacto con Omar Viera y Mercedes Berterretche, se adquirieron conocimientos sobre la problemática planteada. Tiene como actividades importantes la investigación del área a trabajar²⁶, el relevamiento de los requerimientos²⁷ y la definición del alcance del sistema²⁸. En esta fase sufrimos una desviación a lo planificado²⁹ que se describe con mayores detalles en el documento de evaluación y ajuste plan de proyecto³⁰.

9.1.2. Fase de elaboración

En la fase de elaboración se hizo énfasis en definir una adecuada arquitectura del sistema, siendo necesario implementar algunos prototipos en busca de mitigar los riesgos con la tecnología a utilizar. Cabe aclarar que si bien la fase se extendió hasta los primeros días de febrero, el equipo tuvo un descanso de veinte días en el mes de Enero.

9.1.3. Fase de construcción

En la fase de construcción las actividades críticas son la implementación y verificación del producto. Para la implementación si bien se hicieron prototipos, éstos no fueron suficientes dado que se tuvieron algunos problemas que insumieron mucho tiempo de investigación básicamente en el estudio de la API de ArcGIS. Esto era un riesgo previsto en el documento de riesgos³¹.

9.1.4. Fase de transición

En la fase de transición las principales actividades son la implantación del producto y la gestión del proyecto. También se redactó el manual de usuario³² y se realizó la presentación del producto a Mercedes.

²⁶ Anexo: Capítulo 1

²⁷ Anexo: Sección 3.1

²⁸ Anexo: Sección 3.2

²⁹ Anexo: Sección 8.1

³⁰ Anexo: Sección 8.4

³¹ Anexo: Sección 8.3

³² Anexo: Capítulo 2

9.2. Documento anexo

El documento anexo tiene como objetivo servir de apoyo en la lectura de este informe final del proyecto, desde el cual se realizan referencias a algunas secciones del anexo. Este documento proveerá información detallada sobre el tema de interés. Su contenido consta de todos los documentos realizados durante el proceso de desarrollo de la herramienta de optimización de muestreo con el fin de presentar la batería de artefactos construidos en dicho el proceso.

9.3. Referencias

1. ARIFIN, Shamsul. Location Allocation problem using genetic algorithm and simulated annealing: A case study based on school in Enschede. Enschede, The Netherlands, 2010. Disponible en <http://www.itc.nl/library/papers_2011/msc/gfm/arifin.pdf> [Consulta: 22 de Setiembre 2012]
2. BLACKMORE, Simon; GODWIN, Richard J.; FOUNTAS, Spyros. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. *Biosystems Engineering*, Volume 84, Issue 4, Paginas 455-466. DOI 10.1016/S1537-5110(03)00038-2. Publicado por Elsevier Science Ltd. 2003.
3. BONGIOVANNI, Rodolfo; CHARTUNI MANTOVANI, Evandro; BEST, Stanley; ROEL, Álvaro. *AGRICULTURA DE PRECISIÓN: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 2006.
4. BRICEÑO VALERA, Francisco; FERNANDEZ TORRENS, Oswaldo; PEÑA, Agustín; FACCIN, Emelin. *Evaluación agronómica con técnicas de agricultura de precisión en parcelas de café (Coffea arabica) en la cuenca del Rio Castan*. Estado Trujillo. Publicado
5. CARVALHO, Luciana P.; RIBEIRO, Paulo J.; DE STEFANO, Sônia M.; URIBE-OPAZO, Miguel A. Optimization of spatial sample configurations using hybrid genetic algorithm and simulated annealing. Brasil 2011. Disponible en <http://chjs.deuv.cl/Vol2N2/ChJS_SEEMI3.pdf> [Consulta: 10 de Noviembre 2012]

6. DEBBA, Pravesh. Field sampling scheme optimization using simulated annealing. CSIR Built Environment, Logistics and Quantitative. Methods LQM, POBox 395, Pretoria, 0001. South Africa
7. ELZINGA, Caryl L.; SALZER, Daniel W.; WILLOUGHBY, John W. Measuring & Monitoring Plant Populations. Publicado por: Bureau of Land Management, U.S. Department of the Interior, Julio, 1998.
8. FERRERO, Marta B.; CHIOTTI, Omar J. A. Modelado, Simulación y Optimización de Procesos Químicos. Autor: Nicolás J. Scenna y col. ISBN: 950-42-0022-2 - ©1999.
9. GIRALDO, Ramón. Introducción a la Geoestadística: Teoría y Aplicación. Departamento de Estadística, Universidad Nacional de Colombia, 2002. 97 p.
10. GONZALEZ NARVAEZ, Mariela; GUERRERO LOOR, Fernando. Geoestadística aplicada a la clasificación de suelos para cultivos. Director: Fernando Guerrero L. [Tesis]. Ingeniera en Estadística Informática. Guayaquil- Ecuador, 2002.160p
11. JOHNSTON, Kevin; VER HOEF Jay; KRIVORUCHKO, Konstantin; LUCAS, Neil. Using ArcGIS Geostatistical Analyst. Disponible en <http://dusk2.geo.orst.edu/gis/geostat_analyst.pdf> [Consulta: 07 de Noviembre 2012]
12. LEIVA, Fabio R. Aproximación al manejo sitio-especifico del suelo para una agricultura sostenible y competitiva en Colombia. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2006.
13. LERMA MARTINEZ, David; GAONA SERRANO, Raúl. Desarrollo de un sistema de cómputo para la modelación geoestadística de fenómenos espaciales. Director: Dr. Martín Alberto Díaz Viera. [Tesis]. Ingeniería en Sistemas Computacionales con Especialidad en Sistemas. Escuela Superior de Cómputo, IPN. México, junio de 2005.
14. PÉREZ VÁZQUEZ, César. Aplicación de entornos virtuales para la exploración y búsqueda de información. Tesis doctoral - Departamento de lenguajes y sistemas informáticos e ingeniería del software - Facultad de informática - Universidad Politécnica de Madrid. Año 2004. Disponible en

<http://oa.upm.es/175/1/Cesar_Perez_Vasquez.pdf>. [Consulta: 24 de Setiembre 2012]

15. SIQUEIRA, G.M.; VIEIRA, S.R.; SOUZA, Z.M.; DAFONTE, J.; PAZ, A. Utilización de herramientas estadísticas y geoestadísticas para optimización del muestreo de propiedades físicas del suelo. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo Vol. VIII. J.V. Giráldez Cervera y F.J. Jiménez Hornero, 2007.
16. VASQUEZ POLO, Jose. Variabilidad especial de propiedades físicas y químicas en suelos de la granja experimental de la Universidad de Magdalena (Colombia). Publicado en Colombia, Acta Agronómica, ISSN: 0120-2812, Editorial Feriva v.57 fasc.4, paginas 449-456, 2010.
17. Página oficial ArcObjects SDK 10 .NET Framework: <help.arcgis.com/en/sdk/10.0/arcobjects_net/conceptualhelp/index.html#/Developing_with_ArcGIS/0001000001ww000000/> [Consulta: 16 de Mayo 2013]
18. Sitio oficial DIA. www.dia-installer.de/ [Consulta: 31 de Octubre 2012]
19. Sitio oficial Dropbox. www.dropbox.com/ [Consulta: 01 de Marzo 2013]
20. Sitio oficial ESRI: www.esri.com/ [Consulta: 17 de Junio 2013]
21. Apuntes teóricos del curso Taller de verificación de software - Carrera Ing. en computación - Facultad de Ingeniería. Disponible en <www.fing.edu.uy/inco/cursos/tvs/pmwiki/uploads/Material/Proceso%20Testing%20Funcional%20-%20parte%20I.pdf> [Consulta: 17 de Agosto 2012]
22. Sitio oficial GtiHub. www.github.com/ [Consulta: 10 de Diciembre 2012]
23. Sitio oficial MODIS. www.modis.gsfc.nasa.gov/ [Consulta: 17 de Setiembre 2012]
24. Sitio oficial EXCEL. www.office.microsoft.com/es-hn/excel/ [Consulta: 17 de Setiembre 2012]
25. Sitio oficial UML. www.uml.org/ [Consulta: 31 de Octubre 2012]

Dpto. IO
Instituto de Computación
Facultad de Ingeniería
Universidad de la República



IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN DE MUESTREO PARA AGRICULTURA EN UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO

Anexo de documentación de Proyecto de Grado presentado al Tribunal
Evaluador como requisito de graduación de la carrera Ingeniería en
Computación

Montevideo, Uruguay, Setiembre de 2013.

Autores:

Nicolás Oliveri Zitto
Gonzalo Parente Gadea
Martin Varela Sosa Dias

Supervisor:

MSc. Ing. Omar Viera

Responsable:

MSc. Mercedes Berterretche

Resumen

El objetivo del anexo es servir como apoyo en la lectura del informe final del proyecto, desde el cual se realizarán referencias a algunas secciones de este documento, que proveerá información desarrollada sobre el tema de interés. En el presente documento se encuentran todos los documentos realizados durante el proceso de desarrollo de la herramienta de optimización de muestreo con el fin de presentar la batería de artefactos construidos en el proceso de desarrollo. Para una mejor comprensión de su contenido se estructuró en capítulos. El primer capítulo contiene el estado del arte, donde se pretende presentar el marco teórico necesario para la realización del proyecto. El segundo capítulo contiene el manual de usuario de la herramienta. Los siguientes capítulos se destinaron a presentar los documentos elaborados en cada área de actividad del proceso de desarrollo.

Contenido

1. ESTADO DEL ARTE.....	4
2. MANUAL DE USUARIO.....	40
3. REQUERIMIENTOS.....	61
3.1 Especificación de Requerimientos_v2.1.....	61
3.2 Alcance del sistema_v2.1.....	68
3.3 Glosario_v2.0.....	71
3.4 Modelo de Dominio_v1.1	76
3.5 Modelo de Casos de Uso_v2.1.....	79
3.6 Pautas para la Interfaz de Usuario_v1.0	85
3.7 Documento de Validación con el Cliente_v1.0	88
4. DISEÑO.....	93
4.1 Modelo de Diseño_v2.1	93
4.2 Descripción de la Arquitectura_v1.1	111
5. IMPLEMENTACIÓN.....	119
5.1 Estándar de Implementación_v1.0.....	119
6. VERIFICACIÓN.....	122
6.1 Plan de Verificación y Validación_v4.0.....	122
6.2 Modelo de Casos de Prueba_v1.3.....	139
6.3 Informe de Verificación del Sistema_v2.3.....	157
6.4 Informe Final de Verificación_v1.0.....	189
7. IMPLANTACIÓN.....	200
7.1 Materiales para Soporte al Usuario_v1.0.....	200
7.2 Plan de Implantación_v1.0.....	203
8. GESTIÓN DE PROYECTO.....	207
8.1 Plan de Proyecto_v2.0.....	207
8.2 Descripción del Proyecto_v1.1.....	213
8.3 Documento de Riesgos_v1.0.....	217
8.4 Documento de Evaluación y Ajustes al Plan de Proyecto_v1.1.....	227
8.5 Acta de Reunión_20120809.....	230
8.6 Acta de Reunión_20120920.....	234
8.7 Acta de Reunión_20121208.....	237
8.8 Acta de Reunión_20130426.....	240
8.9 Acta de Reunión_20130610.....	246
9. GESTIÓN DE CALIDAD.....	249
9.1 Plan de SQA_v1.0	249
9.2 Informe de Revisión Técnica Formal (RTF)_v1.0	262
9.3 Documento de Evaluación y Ajuste del Plan de Calidad_v1.0	266
9.4 Informe de Revisión Técnica Formal (RTF)_v2.0	269
9.5 Documento de Evaluación y Ajuste del Plan de Calidad_v2.0	274
9.6 Informe de Revisión Técnica Formal (RTF)_v3.0	277
9.7 Informe de Revisión Técnica Formal (RTF)_v4.0	281
9.8 Documento de Evaluación y Ajuste del Plan de Calidad_v3.0	284
9.9 Informe Final de SQA_v1.0	287
10. COMUNICACIÓN.....	297
10.1 Documento Informativo_v1.0	297
10.2 Encuesta de Satisfacción del Cliente.....	300
10.3 Evaluación de satisfacción del cliente.....	306

Dpto. IO
Instituto de Computación
Facultad de Ingeniería
Universidad de la República



IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN DE MUESTREO PARA AGRICULTURA EN UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO

Estado del arte
Montevideo, Uruguay, agosto de 2012.

Autores:

Nicolás Oliveri Zitto
Gonzalo Parente Gadea
Martin Varela Sosa Dias

Supervisor:

Omar Viera

Co-supervisor:

Martin Varela

Responsable:

Mercedes Berterretche

Resumen

En el presente documento se pretende presentar el marco teórico necesario para la realización del proyecto de grado de la carrera de ingeniería en computación. Los conceptos tratados surgen de la investigación realizada por el grupo acerca del estado del arte en las áreas vinculadas al objetivo del proyecto. Se comenzará el documento con las definiciones básicas tanto de optimización como de los problemas de ubicación-asignación. Se define la agricultura de precisión, sus inicios y los objetivos que se buscan con la implementación de esta técnica. Se define el concepto de variabilidad del suelo, sus tipos, formas y la correlación existente entre ellas. Se plantea la importancia de una correcta elección de la escala en la etapa de muestreo. Se define el concepto de muestreos discretos y se enumeran los diseños más usados tales como en grillas, por juzgamientos, adaptativos y muestreo dirigido. Se realiza una breve descripción de los mapas de rendimientos, en particular el procedimiento para su generación, su aplicación en la definición de zonas homogéneas y sus beneficios en la visualización de la variabilidad temporal y espacial. Se define la técnica de análisis fractal, que es relativamente nueva comparándola con las técnicas estadísticas básicas, y sus aplicaciones en la agricultura para analizar la variabilidad de los suelos y el rendimiento de los cultivos. Se define el concepto de geoestadística y sus orígenes. Además, se describen sus etapas y su aplicación en la agricultura.

Contenido

RESUMEN.....	6
CONTENIDO	7
OPTIMIZACIÓN.....	9
MOTIVACIÓN.....	9
DEFINICIÓN	9
UBICACIÓN-ASIGNACIÓN (LOCATION-ALLOCATION).....	9
ALGORITMOS.....	10
CLARANS	10
SSA	10
AGRICULTURA DE PRECISIÓN.....	12
VARIABILIDAD.....	13
RELACIÓN ENTRE LA VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL.....	15
ESCALA	16
MUESTREO.....	18
MUESTREO DISCRETO.....	18
MUESTREO EN GRILLAS.....	18
MUESTREO POR JUZGAMIENTO	18
MUESTREO ADAPTATIVO.....	19
MUESTREO DIRIGIDO.....	19
MAPAS DE RENDIMIENTO.....	21
FRACTALES.....	22
ANÁLISIS FRACTAL	22
DIMENSIÓN FRACTAL	23
MULTIFRACTAL.....	24
GEOESTADÍSTICA.....	25
ORIGEN Y DEFINICIÓN.....	25
APLICACIÓN EN LA AGRICULTURA	25
ETAPAS DE GEOESTADÍSTICA.....	25
DEFINICIONES BÁSICAS	26
<i>Variable regionalizada</i>	26
<i>Proceso estocástico</i>	26
<i>Momentos de una Variable Regionalizada</i>	26
<i>Estacionariedad</i>	26
<i>Estacionariedad de Segundo Orden</i>	27
<i>Estacionariedad Débil o Intrínseca</i>	27
<i>Anisotropía</i>	27
<i>Anisotropía geométrica</i>	27
<i>Anisotropía zonal</i>	28
ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS	28

CORRELACIÓN ESPACIAL MUESTRAL Y AJUSTE DE MODELOS	29
<i>Variograma y semivariograma</i>	30
<i>Modelos teóricos de semivarianza</i>	31
Modelo Esférico	31
Modelo Exponencial	32
Modelo Gaussiano	32
Modelo Monómicos	33
Modelo de Independencia	33
PREDICCIÓN ESPACIAL	34
<i>Kriging Ordinario</i>	35
<i>Kriging Simple</i>	35
<i>Kriging en Bloques</i>	36
<i>Kriging Universal</i>	36
<i>Kriging Residual</i>	37
<i>Kriging Indicador</i>	37
<i>Kriging Log-Normal</i>	38
<i>Kriging multi-gaussiano</i>	38
REFERENCIAS	39

Optimización

Motivación

Existe una enorme variedad de actividades en el mundo cotidiano que pueden ser útilmente descritas como sistemas, desde sistemas físicos tales como una planta industrial hasta entidades teóricas tales como los modelos económicos. La operación eficiente de esos sistemas usualmente requiere un intento por optimizar varios índices que miden el desempeño del sistema. Algunas veces, esos índices son cuantificados y representados como variables algebraicas. Entonces se deben encontrar valores para esas variables, que maximicen la ganancia o beneficio del sistema, o bien minimicen los gastos o pérdidas. Se asume que las variables dependen de ciertos factores.

Algunos de esos factores a veces están bajo el control (al menos parcialmente) del analista responsable del desempeño del sistema. [15]

Definición

Se puede definir como optimización al proceso de seleccionar, a partir de un conjunto de alternativas posibles, aquella que mejor satisfaga el o los objetivos propuestos. Para resolver un problema de optimización se requieren dos etapas principales:

- Formulación del modelo
- Resolución y validación del modelo

La formulación del modelo de optimización no es un procedimiento formal estructurado, sino más bien es un proceso que requiere de experiencia y creatividad.

Una vez generado el modelo, la etapa siguiente es resolver y validar dicho modelo. Esta etapa puede considerarse suficientemente formalizada puesto que los modelos de problemas de optimización han sido muy estudiados y se han desarrollado innumerables métodos y estrategias para resolverlos. [16]

Ubicación-Asignación (Location-Allocation)

El objetivo de estos algoritmos es determinar las ubicaciones óptimas, partiendo de un conjunto de posibles ubicaciones, tomando en cuenta las restricciones y particularidades del problema a resolver.

En el área del muestreo agrícola, es posible optimizar la cantidad y ubicación de muestras a tomar, con el fin de mejorar el costo del muestreo, sin perder precisión en la caracterización del potrero. [17]

Algoritmos

CLARANS

Este es un algoritmo de clustering particional diseñado para facilitar un análisis eficiente y minería de datos con componentes espaciales. Surgió como una evolución de los algoritmos PAM y CLARA.

Este algoritmo es aplicable también cuando alguna o todas las dimensiones de los datos no son numéricas, basta en este caso, definir una métrica distancia bien definida entre los distintos objetos.

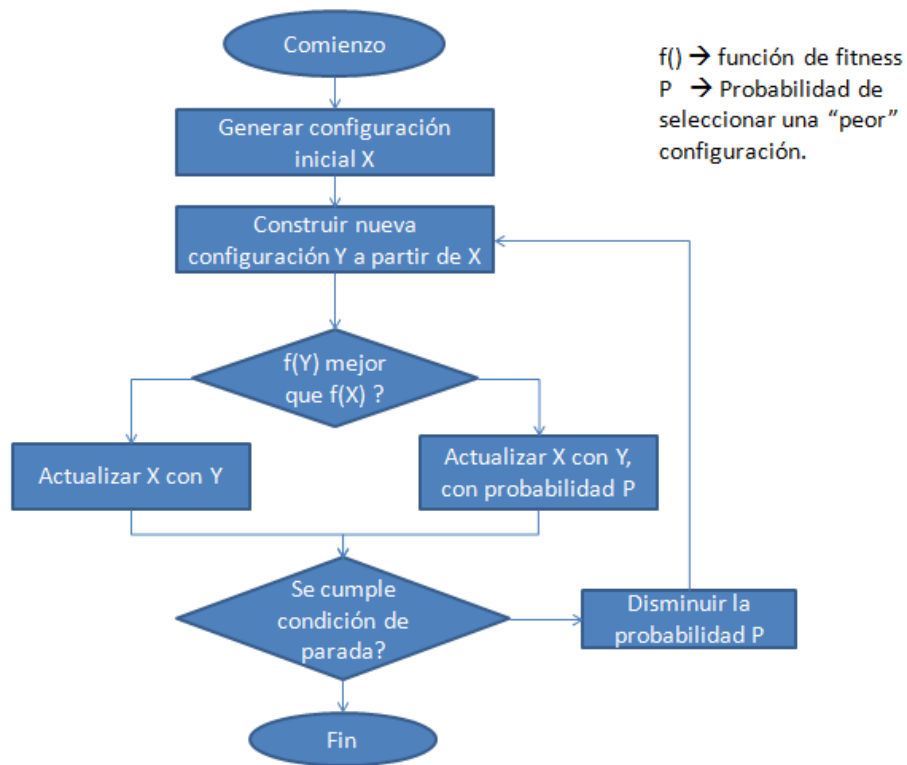
En estos casos, no se realizan operaciones geométricas para elegir un punto como centroide de cada cluster, sino que seleccionan a un elemento representativo del grupo, denominado medoide. A partir de estos medoides, se asigna a cada objeto al cluster representado por el medoide más cercano y se computa función de calidad del clustering como la media de las distancias entre cada uno de los objetos y el medoide correspondiente al cluster [18].

SSA

Spatial Simulated Annealing es un algoritmo desarrollado para optimizar diseños de muestreo espaciales (Van Groenigen, 1999) que permite localizar los lugares de muestreo, minimizando una función de fitness dada. La función de fitness más comúnmente utilizada es la varianza media del krigeado, calculada por medio de la estimación del semivariograma.

El proceso de optimización comienza con una configuración de muestreo inicial, seleccionada de forma aleatoria, y se realiza una iteración donde en cada paso se genera una nueva configuración de muestreo derivada de la configuración anterior, por ejemplo, cambiando la ubicación de alguno de los puntos de muestreo. Se calcula la función de fitness, y si el resultado es mejor que el de la anterior, se selecciona la nueva configuración. Si no es mejor, se decide con un criterio de aceptación probabilístico con que configuración quedarse.

El criterio de aceptación permite eventualmente que peores configuraciones sean aceptadas, de manera de evitar óptimos locales. A medida que avanza el proceso, decrece la probabilidad de aceptar una peor configuración.



Agricultura de Precisión

La agricultura de precisión se puede definir como un conjunto de tecnologías que permiten la aplicación de insumos agrícolas de forma variable dentro de un mismo potrero en función del requerimiento o potencial de cada sector homogéneo predefinido dentro del mismo.

El uso de esta técnica busca como objetivos reducir de los costos de producción haciendo un uso más eficiente de los insumos, incrementar la productividad y minimizar el impacto ambiental.

Esta técnica tiene sus inicios en el comienzo mismo de la agricultura, tomando un desarrollo importante en la década de los años 70 con la aparición de los GPS en el campo militar (que luego fueron adaptados al uso civil) y el desarrollo de maquinaria agrícola que hacen posible el trabajo diferencial en cada sector homogéneo dentro de un potrero.

Variabilidad

Uno de los conceptos básicos en los que se sustenta la agricultura de precisión (de aquí en adelante AP) es la correcta identificación, descripción y medición de la variabilidad espacial y temporal del ambiente.

Las propiedades físicas y químicas del suelo pueden producir diferentes niveles de nutrientes disponibles para la planta incidiendo en el rendimiento del cultivo a fin de la cosecha. La variabilidad se puede dar en diferentes escalas desde unos centímetros hasta zonas regionales. Es de interés para la AP estudiar la variabilidad dentro un potrero haciendo más rentable el uso de la técnica a medida que la variabilidad es mayor.

Según *Bouma y Finke*, 1993 [2], la variabilidad del suelo emerge naturalmente a través de las interacciones complejas entre factores naturales y de manejo de los mismos. Los factores naturales son, entre otros, los involucrados en la formación del suelo como ser tiempo, topografía, pendientes, clima y actividad de organismos. El manejo del suelo como ser la fertilización, laboreo, rotación de cultivos afectan significativamente los patrones de variabilidad física y químicas del suelo.

Como se ha mencionado en los párrafos anteriores existen diferentes tipos de variabilidades como son natural, inducida, espacial y temporal.

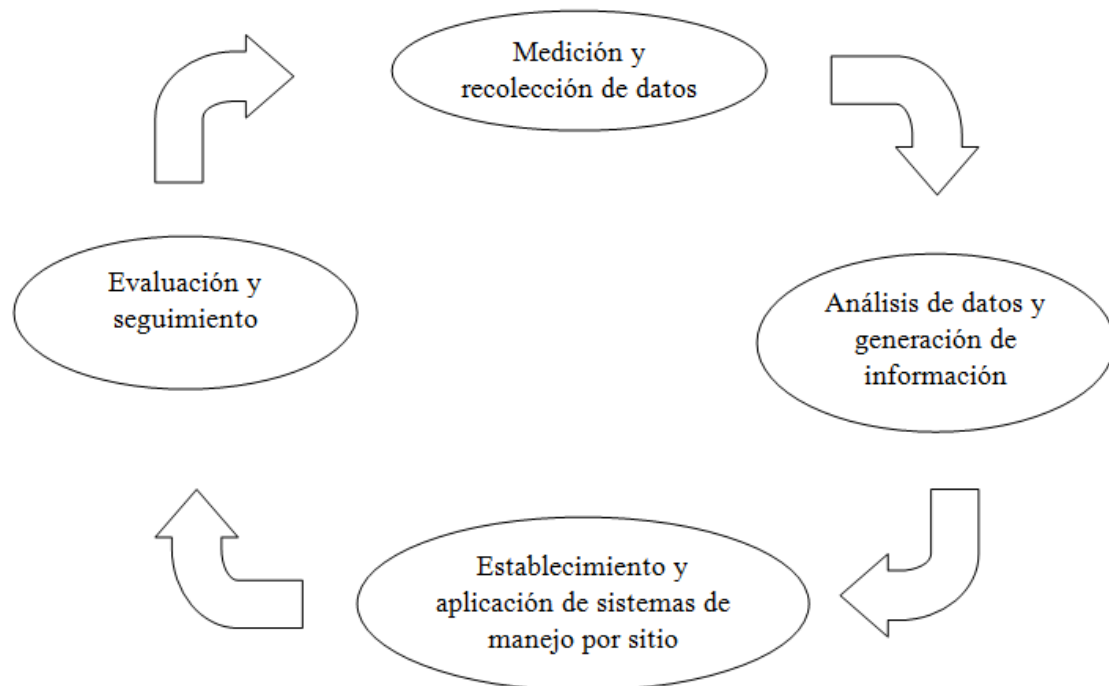
Tipo	Característica	Ejemplos
Natural	Debido a las características naturales del suelo.	Características del suelo, del clima, de la topografía y de las especies vegetales y animales.
Inducida	Debida a las actividades de laboreo del suelo y la rotación de cultivos	Compactación en las cabeceras de los potreros debido a maquinaria agrícola, resistencia de ciertos cultivos por el uso indebido de algunos agroquímicos.
Espacial	Indica las variaciones que ocurren en diferentes localizaciones geográficas dentro de un mismo establecimiento, incluso dentro del mismo potrero y se determina mediante muestreo en diferentes sitios.	Diferentes niveles de un nutrientes en el suelo, diferencias en el rendimiento de un cultivo en distintas partes del potrero.
Temporal	Indica las variaciones que ocurren en el tiempo y se determina mediante muestreos en diferentes momentos, mediante mapas de rendimiento, fotos aéreas, etc.	Cambios en el clima, en el contenido de humedad del suelo o de un nutriente durante el ciclo del cultivo.

Además de la medición y estudio de la variabilidad de los diferentes parámetros, es importante no perder de vista y establecer los factores que tienen mayor incidencia en el rendimiento del cultivo y en aquellos en donde se tienen posibilidades de intervenir para ser controlados o modificados.

El manejo y la aplicación variable de nutrientes es una de las aéreas con mas desarrollo en la actualidad de la AP. Sin embargo el clima (temperaturas, regímenes de lluvia y niveles de humedad) es uno de las fuentes más variables en la agricultura con grandes implicancias en los rendimientos de los cultivos y en condiciones de campo difícilmente podemos modificarlo salvo que se trate de un cultivo en condiciones controladas, bajo cubierta o bajo riego.

La AP se compone de cuatro grandes etapas las cuales forman un ciclo que continuamente se está actualizando y enriqueciendo en base a la información a lo largo del tiempo. Las etapas son:

- 1.- Medición y recolección de datos
- 2.- Análisis de datos y generación de información
- 3.- Establecimiento y aplicación de sistemas de manejo por sitio
- 4.- Evaluación y seguimiento.



En nuestro trabajo nos centraremos en el punto 1.

Medición y recolección de datos

Esta es una etapa de particular importancia en la implementación dado que todo el trabajo posterior está basado en los datos relevados. La dificultad mayor pasa por establecer la correlación espacial de una o dos más variables dentro del potrero. *Senay et al. 1998* [1], clasificaron los métodos para medir la variabilidad a nivel de campo en mediciones continuas, mediciones discretas y mediciones remotas.

Dentro de las mediciones continuas podemos encontrar la determinación de mapas de rendimiento de un cultivo usando sensores en las cosechadoras con el apoyo de un sistema de posicionamiento global.

Las mediciones discretas en puntos específicos son las más usadas para estudios de suelo y seguimiento en el desarrollo de un cultivo.

Mientras que las mediciones remotas son aquellas que se realizan con la ayuda de satélites o aeronaves con sensores y pueden cubrir todo o gran parte del potrero. Dentro de estas mediciones podemos encontrar las fotos aéreas, imágenes satelitales, imágenes fluorescentes, de radar, etc.

Relación entre la variabilidad espacial y temporal

A partir de los años 90 cuando se comenzó a consolidar la asignación de rendimientos comerciales se esperaba que las partes de campo tuvieran un comportamiento similar a lo largo del tiempo. Larscheid y Blackmore desarrollaron un método para normalizar los diferentes años de manera de poder compararlos y realizar un estudio de las tendencias temporales.

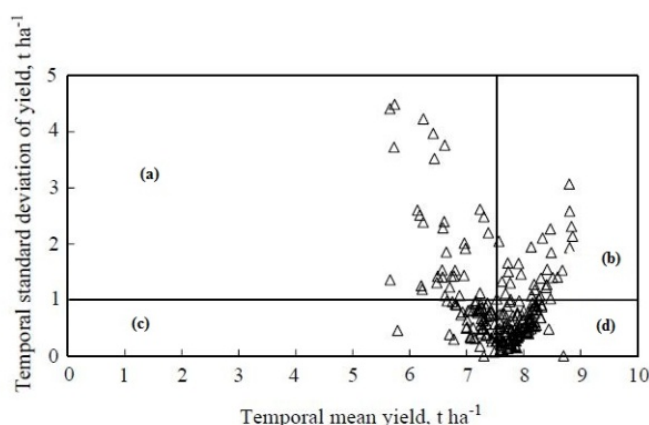
Blackmore et al. 2003 [11], realizaron un trabajo que analiza las tendencias temporales y espaciales en cuatro campos diferentes en sobre un histórico de seis años. Durante el análisis se discuten diferentes aspectos dentro de los que se encuentran el proceder en la recolección de datos de manera de eliminar errores (como desviaciones atípicas, terminaciones abruptas, ausencia de datos en algunos puntos, etc.), las formas en la que se presenta la estabilidad temporal, la dificultad para establecer el valor de umbral entre la estabilidad e inestabilidad.

Los autores realizaron una simplificación de los mapas de cada cosecha estandarizando los valores en una grilla de 20m. Valores más grandes de la grilla tienden suavizar los datos mientras que grillas más pequeñas tienden a ser más dependientes del número de puntos. Por un lado el mapa de tendencia espacial se realizó calculando la media aritmética en cada uno de los puntos de la grilla durante los seis años y luego se fueron dividiendo en clases de 1 ton/ha. Mientras que por otro lado, para el cálculo de la tendencia espacial se observó que existía una diferencia en los rendimientos de un año con otros, posiblemente relacionado a condiciones climáticas, consideraron importante separar estas desviaciones interanuales de los efectos espaciales temporales y definen una forma de calcular la varianza temporal en cada uno de los puntos.

$$\sigma_i^2 = \frac{\sum_{t=A_{inicial}}^{t=A_{final}} (Y_{t,i} - \bar{Y}_t)^2}{|A_{final} - A_{inicial}|}$$

Donde σ_i^2 es la variación temporal en el punto i de la grilla, t es el año, $Y_{t,i}$ es el rendimiento en el año a en el punto i, $\bar{Y}_t$ es la media aritmética del rendimiento en el año t y $A_{inicial}, A_{final}$ son los años iniciales y finales de históricos respectivamente.

Según esta definición se tiene un valor de la variabilidad temporal, por un lado, bajo en zonas cuyos rendimientos siempre estén cerca de la media denominándolas zonas temporalmente estables. Por otro lado, un valor alto en donde los rendimientos a veces son altos y bajos



Relación entre la desviación estándar temporal y la media temporal [11].

respecto de la media, denominándolas zonas temporalmente inestables. Con toda esta información concluyo que en los campos en estudio se pueden dividir en áreas: (1) zonas de alto potencial: por encima de la media general para el campo, (2) zonas de bajo potencial: por debajo de la media general para el campo, (3) zonas estables: baja variabilidad espacial en el tiempo, (4) zonas inestables: alta variabilidad espacial en el tiempo. Con el rendimiento y la estabilidad que no son mutuo excluyentes nos quedan cuatro categoría de zonas, (a) Bajo potencial e inestable, (b) Alto potencial e inestable, (c) Bajo potencial y estable, y (d) Alto potencial y estable en el tiempo. En la siguiente figura se observa la representación de cada uno de los puntos de la grilla (simplificación del mapa inicial) dentro de cada una de las zonas. Los autores definen como inestable a los puntos cuando su desviación estándar es superior a 1 ton/ha.

Escala

Para realizar análisis en múltiples escalas, se pueden utilizar distintos métodos. Uno de ellos es utilizar una rejilla fija de muestras de puntos implementados en varios sitios separadas a distancias diferentes. De esta manera se puede evaluar los patrones a diferentes escalas agrupando los datos en unidades discretamente definidas de diferentes escalas y particionado la variación entre esas escalas. Una ventaja de este método es que utiliza todo el conjunto de datos recogidos en todos los análisis realizados. [12]

Otro método, que se aplica generalmente con los datos de sensores remotos, es promediar los puntos de datos vecinos de alguna grilla de medición fija, en zonas cada vez más grande de la grilla. Se debe tener en cuenta que para datos cuantitativos, hay pérdida de información, debido a sucesivos promedios y a que la cantidad de datos utilizados en escalas mayores es notoriamente menor que en la menor escala. Además, este procedimiento, sirve más bien para testear como el incremento de la resolución de una misma área, altera nuestra perspectiva de la propiedad de interés. Para su utilización como prueba consistente de un proceso a través de escalas, es necesario que en los paisajes medidos la relación espaciado-extensión permanezca constante. [12]

Los semivariogramas son sólo de carácter informativo para la escala particular en la que se miden, además deberíamos esperar que sean dominados por las influencias de los procesos dominantes que actúan en esa escala. Western y Blöschl realizaron en 1999 un estudio en el que tomando un único conjunto de datos, variaron los tres parámetros de medición: extensión (área total a través del cual se realizan las mediciones), espaciado (distancia entre puntos de medición adyacentes) y support (área sobre la cual se integra

una medición individual, por ejemplo : volumen de una muestra de suelo, superficie de una parcela de campo, o el área de un píxel en una imagen de teledetección); y “mostraron que estos tres parámetros de medición pueden afectar el rango y la varianza asintótica”. [12].

La variabilidad de las propiedades del suelo se puede estudiar en diferentes escalas.

- Pequeña escala: en esta escala las propiedades de los suelos cambian en pequeñas distancias. Las variaciones ocurren generalmente por pequeños cambios en la topografía, al tamaño de las partículas derivadas de los materiales parentales, efecto de microorganismos y el uso anterior del suelo. En esta escala los análisis tienen usos prácticos para el manejo de la fertilidad.[13]
- Mediana escala: principalmente se refieren a factores tales como topografía, drenaje, material parental, y el estudio de las diferencias de alguno de ellos. [13]
- Gran escala: Principalmente los patrones son resultado del clima y la vegetación. [13]

En condiciones ideales, la semivarianza debería ser cero cuando la distancia es cero. En la práctica esto no ocurre, a este fenómeno se le llama efecto nugget. La varianza puede ser generada por la micro variabilidad de la propiedad no detectada en la escala de muestreo utilizada, y/o por errores en las mediciones en campo o en el laboratorio. [13] [14]

Al estudiar la relación entre el efecto nugget y el valor de la meseta del semivariograma, se puede establecer una disminución de la dependencia espacial cuando aumenta la variación a corto alcance. [13]

Cambardella, et al., [14] teniendo en cuenta el porcentaje que representa el nugget con respecto al valor de la meseta del semivariograma, estableció tres categorías para agrupar la dependencia espacial, estas son:

- Fuerte dependencia espacial: Nugget < 25 %
- Moderada dependencia espacial: Nugget entre 25 y 75 %.
- Débil dependencia espacial: Nugget >75 %

Un efecto nugget puro, es decir cuando el nugget es un 100% de la meseta, indica que no hay correlación espacial en la escala de muestreo, esto se debe a que en cortas distancias de separación tenemos alta variación. [14]

Siguiendo con este análisis, el semivariograma mostrara una gran varianza nugget , si los procesos dominantes de la génesis del suelo ocurren en rangos cortos. En cambio el semivariograma será lineal hasta llegar a la meseta, donde se aplana, si los procesos ocurren en grandes rangos. [14]

“El re-análisis de varios conjuntos de datos mostró que la variación de corto rango era más importante para los datos de propiedad del suelo, mientras que la variación de largo rango dominaba los datos de relieve y de agua subterráneas” [12].

Muestreo

Muestreo discreto.

El objetivo del muestreo es obtener un subconjunto de datos que represente adecuadamente toda el área a analizar. El conocimiento del suelo y el clima de la región, el manejo de agrónomo del campo, facilitan definir el diseño del muestro discreto de suelos. El muestreo en grillas regulares es uno de los métodos más utilizando principalmente cuando se tiene poca o ninguna información del campo.

De acuerdo con Pocknee et al. 1996 [2], la variabilidad presente en un potrero puede clasificarse de tres formas: micro, meso y macro variabilidad. Las dos primeras se producen en escalas que van desde centímetros a unos pocos metros. La macro variabilidad es causada por cambios mayores de suelo, a través de la fisiografía, que pueden deberse a cambios naturales del tipo de suelo o pueden ser ocasionados como resultado de diferentes rotaciones de cultivos.

Cualquier diseño de muestreo de suelos o cultivos debería ser pensado para que la influencia de la micro y meso variabilidad en el resultado final sea minimizada y sea maximizada la influencia de la macro variabilidad. El diseño del muestreo se planifica en base a lo que se desea muestrear y a la información previa que se tenga del potrero. Según Pocknee et al. 1996 y Mulla McBratney 2002 [2], para la cuantificación de los patrones de variabilidad de una variable en una chacra existen dos aproximaciones. La primera es que se tenga un desconocimiento pleno de la chacra y la segunda se basa en el uso de información complementaria para mejorar la calidad y reducir el margen de error en la información obtenida.

Algunos de los diseños más conocidos se listan a continuación, muestreos en grilla, muestreo al azar, muestreo por juzgamiento, muestreo adaptativo, muestreo de búsqueda, muestreo geoestadístico, muestreo dirigido.

Muestreo en grillas

El muestreo en grillas es el más conocido y se lleva a cabo para evitar los desbalances en la distribución de los puntos en el campo y las dificultades asociadas a la interpolación. Se suele formar la grilla con distintas formas geométricas como pueden ser triángulos, rectángulos, hexágonos, etc. Las más usadas son las grillas en forma rectangular, sin embargo las grillas formadas por triángulos son las consideradas las más eficientes para captar la variabilidad espacial.

Una de las mayores desventajas de este tipo de muestreo es la linealidad en la toma de muestras que puede ser afectada por patrones de variabilidad sistemáticos (por ej. surco de fertilización). Es por este motivo que existe una variante a este diseño de muestreo que se basa en la división de la chacra en celdas y realizar en cada celda la toma de muestra de forma aleatoria dentro de la misma. De este modo se minimiza el potencial error por la linealidad de las muestras. Este tipo de muestreo se lo conoce como muestreo sistemático estratificado desalineado.

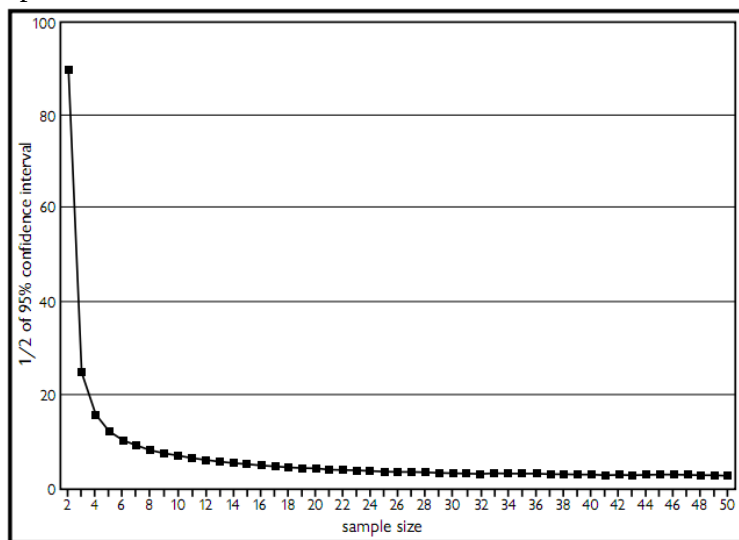
Muestreo por juzgamiento

Este tipo de muestreo es usado por parte del productor cuando se conoce mucho el suelo o se tiene la sospecha de que pueda estar pasando algo en una zona del potrero definida. Los motivos pueden llegar a ser variados, dentro de los que se encuentran el bajo rendimiento obtenido de un cultivo, presencia de enfermedades de la planta, etc. Está

muy ligado al conocimiento del productor acerca del campo y carece de valor estadístico.

Muestreo adaptativo

Este tipo de muestreo se basa en el mencionado muestreo en grillas y la cantidad de muestras pueden ir variando a medida que avanzamos en el campo debido a la presencia de mayor o menor variabilidad localizándonos en zonas específicas. La cantidad de tomas de suelo es proporcional a la variabilidad del suelo. El nivel de precisión crece al aumentar la cantidad de muestras, pero no lo hace proporcionalmente. Llega un momento donde el beneficio de aumentar el número de muestras a tomar es insignificante, y su costo asociado no lo amerita, por lo que es de suma importancia encontrar el número óptimo de muestras a tomar. Tomar un número menor de muestras que el óptimo, puede tener como consecuencia que el subconjunto de datos obtenido no represente adecuadamente la realidad en el ambiente.



Influencia del número de muestras sobre el nivel de precisión. Notar que a partir de $n = 30$ no se obtienen mejoras significativas en el nivel de precisión. [9]

Los métodos comentados anteriormente asumen que se cuenta con escasa o ninguna información acerca de la variabilidad existente en el campo. Pocknee et al. 1996 [2] sostiene en su trabajo que antes de comenzar con cualquier sistema de muestreo se debería de tener una aproximación a los patrones de variabilidad existentes. Como información auxiliar se puede considerar mapas de suelos, mapas de pendientes, mapas topográficos, historia de la chacra, mapas de rendimientos históricos, mapas de conductividad eléctrica, registros climáticos, patrones de variabilidad estudiada científicamente. De tener información de la chacra son útiles los siguientes diseños de muestreos.

Muestreo dirigido

Dentro de la clasificación de muestreos dirigidos encontramos a los muestreos geoestadísticos y los muestreos por zonas. “El objetivo central del muestreo geoestadístico es la obtención de un mapa preciso y exacto al menor costo posible, mediante la respuesta de dos cuestiones fundamentales: ¿cuántos puntos de muestreo necesito para una determinada chacra? y ¿Dónde deben estar localizados esos puntos?. La clave es la elección de un diseño de muestreo que permita una correcta estimación

del variograma y una alta exactitud en la interpolación realizada por kriging para la obtención del mapa.” [2]

Usando la información adicional que se tenga se puede intensificar el muestro en zonas con mayor variabilidad reduciendo la distancia entre tomas de suelo y de lo contrario se puede atenuar el muestreo donde se tenga escasa variabilidad aumentando la distancia entre tomas de suelo.

Además de la distancia y ubicación de las muestras en la chacra no menos importante es la profundidad, el momento, la cantidad de submuestras (pinchazos de suelo) por punto de muestreo.

Por otro lado se cuenta con lo que se llama muestreo en zonas que lo que busca es la definición de zonas dentro de la chacra con similares patrones de variabilidad para realizar los muestreos a cada zona por separado. La dificultad de esta técnica esta en el desarrollo de metodologías que permitan combinar las diferentes capas de información para la producción de las zonas que sean apropiadas a los efectos del muestreo a realizar. Este tipo de muestreo está altamente relacionado al concepto de zonas de manejo.

Mapas de rendimiento

Los mapas de rendimiento se generan mediante el uso de cosechadoras con sensores que cuantifican la cantidad de granos cosechados en los diferentes puntos del campo, acoplados con un sistema de posicionamiento global (GPS) que posicionan los puntos en el mapa. En la actualidad esta tecnología está presente en nuestro país principalmente en mediano y grandes agricultores.

El uso de este tipo de información es muy útil dado que se puede apreciar de forma clara la variabilidad espacial del rendimiento de un cultivo en las diferentes partes de la chacra. A sí mismo, debe tratarse con mucho cuidado ya que en la generación (en la etapa de la cosecha) se pueden introducir muchas fuentes de error principalmente en lo que tiene que ver con la calibración de los monitores de rendimiento que miden la humedad y peso, en el ajuste del ancho de la plataforma, el reseteo de la cosechadora antes de comenzar a trabajar en la chacra, etc. Todos estos son elementos que pueden llegar a hacer inútil el mapa generado luego de cosechado el grano.

Este tipo de mapas son una muy buena herramienta para la delimitación de zonas de manejo o las zonas donde muestrear los diferentes factores que afectan la producción ya que en ellos se visualiza de forma clara los diferentes rendimientos del cultivo que es a su vez el mejor indicador de la productividad del suelo.

Los mapas de rendimiento de una chacra en un año específico nos aportan información respecto a la variabilidad espacial del suelo en ese año en particular. Si tenemos un histórico de mapas de rendimiento para esa chacra en los últimos años, se puede estudiar la variabilidad temporal del campo y su evolución a lo largo del tiempo.

Para trabajar en este sentido es necesario tener mucho cuidado para interpretar los mapas dado que por ejemplo en un año donde el régimen de lluvias fue por debajo de lo normal (época de sequía) la productividad de un potrero fue alta mientras que ese mismo potrero en otro año donde el régimen de lluvias superó el promedio (época lluviosa) el rendimiento fue bajo. Para trabajar en este sentido y disminuir el sesgo, lo que se hace es “normalizar” los mapas de cada año para después si compararlos entre sí. La normalización se lleva a cabo promediando los rendimientos de todos los potreros de la chacra y asignarle el valor 100, luego en cada sector de la chacra se le calcula un índice relativo a este valor. Lo que se obtiene es un mapa que expresa las variaciones porcentuales del rendimiento con respecto al promedio.

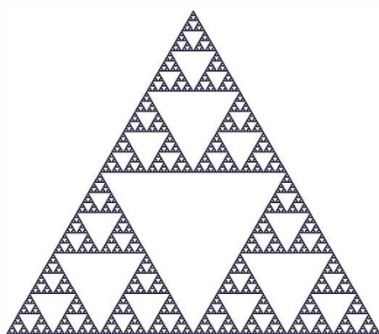
Fractales

Un fractal es un patrón o figura geométrica cuya estructura básica es auto similar a diferentes escalas. El termino fractal deriva del Latín fractus, que significa quebrado o fracturado, fue propuesto por Mandelbrot en el año 1975.

Los fractales deben poseer una dimensión que debe ser no entera y mayor a su dimensión topológica. Esto significa que no tienen dimensión uno, dos o tres como la mayoría de los objetos a los cuales estamos acostumbrados.

Las formas encontradas en la naturaleza, como montañas, franjas costeras, sistemas hidrográficos, nubes, hojas, árboles, vegetales, copos de nieve, etc., no son fácilmente descriptos por la geometría tradicional. La geometría fractal provee una descripción y una forma de modelo matemático para las aparentemente complicadas formas de la naturaleza. Estas formas a veces presentan invariancia estadística ante cambios de escala, propiedad característica de los fractales.

La autosimilitud exacta sólo se ve en fractales matemáticos como por ejemplo el triángulo de Sierpinski. Los objetos encontrados en la naturaleza que presentan patrones fractales, sólo presentan un número finito de niveles auto-similares, y la semejanza entre estos no es exacta. A esto se le denomina autosimilitud estadística.



Triángulo de Sierpinski



Fractal natural (copo de nieve)

Análisis Fractal

El análisis fractal evalúa las características fractales de un conjunto de datos. En la agricultura, el uso de fractales para el análisis numérico de las propiedades de suelos y cultivos, es una técnica relativamente nueva, comparada con las técnicas estadísticas básicas.

Los datos de rendimiento de cultivos agrícolas suelen ser muy complejos de analizar. A veces las técnicas matemáticas y estadísticas comunes son insuficientes para describirlos y analizar su tendencia y variabilidad.

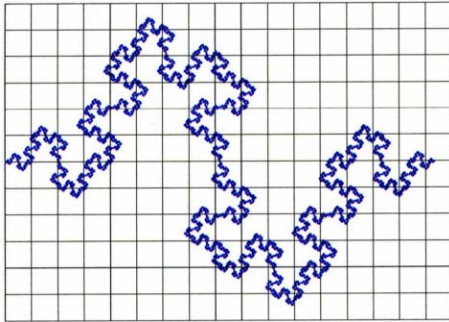
La variabilidad espacial en el rendimiento de los cultivos es causada por diversos factores, como pueden ser la topografía del terreno, propiedades físicas y químicas de la tierra. Estos factores producen variaciones que pueden ser descritos por geometrías fractales.

Dimensión Fractal

La dimensión fractal es un indicador de la geometría del objeto fractal en estudio. Para la variabilidad temporal y espacial, la dimensión puede variar entre 1 y 2.

Existen varios métodos para calcular dimensiones fractales, todos similares entre sí pero no equivalentes. Entre ellos se encuentran la dimensión de Hausdorff y el espectro de dimensiones de Rényi.

La dimensión fractal de Hausdorff se puede calcular dividiendo el área en varias partes de la misma forma y tamaño. Para utilizarlo en estudios de suelo, lo más común es dividirlo en cuadrados.



Curva de Minkowski [5]

Sea, N_k el número de cuadrados que se requieren para cubrir completamente el objeto a calcular y r_k el tamaño de estos. En cada paso se reduce el tamaño del cuadrado (p.ej. $r_{k+1} = r_k/2$) y se vuelve a calcular N_{k+1}

En fractales matemáticos se puede iterar indefinidamente, pero en fractales naturales no, ya que los patrones que presentan los fractales naturales, se pierden luego de un cierto número de iteraciones.

N_k es de la forma $\left(\frac{1}{r_k}\right)^{D_H}$ donde D_H es la dimensión de Hausdorff

Por lo tanto: $D_H = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{\log(N_k)}{\log(1/r_k)}$

La dimensión de Hausdorff solo toma en cuenta la forma del objeto en cuestión, por lo que factores como el tiempo y su evolución no se toman en cuenta en el cálculo. Además, su uso es adecuado sólo para objetos que muestran autosimilitud exacta, y como mencionamos anteriormente, los objetos de la naturaleza sólo presentan autosimilitud estadística.

Para calcular dimensiones fractales de objetos de la naturaleza se puede utilizar el espectro de dimensiones de Rényi. Este método no sólo tiene en cuenta los cambios en el tiempo, sino que también puede ser utilizado para objetos que muestran una estructura multifractal.

Multifractal

Un multifractal es una generalización de un fractal, donde una sola dimensión fractal no es suficiente para caracterizar el objeto en cuestión, por lo que se utiliza un espectro de dimensiones fractales para caracterizarlo.

Para analizar y caracterizar la variabilidad temporal y espacial de suelos, el análisis fractal podría no ser suficiente, debido a la naturaleza heterogénea de las propiedades de los suelos.

Debido a esto, es que es más común que se aplique análisis multifractal a la hora de hacer estudios de variabilidad en la agricultura.

El análisis multifractal ha sido de ayuda para caracterizar parámetros del suelo y cultivos en varios estudios, y los resultados mostrados en ellos reflejan que la variabilidad temporal es más significativa que la espacial en que lo respecta a suelos agrícolas.

Geoestadística

Origen y Definición

“La geoestadística es una rama de la estadística que trata fenómenos espaciales” “Su interés primordial es la estimación, predicción y simulación de dichos fenómenos” [6].

Matheron (1962) fue quien realizó la formulación y solución al problema de predicción, generalizando un conjunto de técnicas desarrolladas por geólogo sudafricano D.G. Krige (1951). La definición que dio a la Geoestadística es *"la aplicación del formalismo de las funciones aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales"* [7].

Aplicación en la Agricultura

La herramienta geoestadística, es utilizada en la agricultura, para determinar los modelos de distribución de los diferentes nutrientes que contiene el suelo. Así mismo nos permite realizar estimaciones, posibilitando una representación más concisa de cantidades de los nutrientes del suelo en la zona. Esto es de gran utilidad, pues permite conocer la fertilidad que posee la zona estudiada, y con ello tomar diferentes decisiones, tales como, tipo de cultivo a desarrollar y/o cuales nutrientes deben ser reforzados mediante el agregado de fertilizantes en las zonas que más lo necesiten. [8]

Etapas de geoestadística

Un análisis geoestadístico consta de tres etapas.

En la primera etapa se debe obtener información de la muestra bajo estudio, identificando observaciones de valores extremos, ubicación, variabilidad y forma de la distribución. Esta etapa es conocida como Análisis Exploratorio de datos (AED), la cual nos permite conocer si estamos en condiciones de aplicar la teoría geoestadística y nos orienta en la definición del método de predicción más adecuado para el caso de estudio. [6][7]

La segunda etapa llamada análisis estructural, utiliza los datos medidos de una variable y determina la dependencia espacial que existe entre ellos, es decir se determina la estructura de autocorrelación espacial. [6][7]

Luego de realizado el análisis estructural, se está en condiciones de efectuar la predicción de valores para la variable, en puntos que pertenecen a la región de estudio y no han sido muestreados. La predicción antes mencionada se logra utilizando alguno de los métodos kriging que se verán más adelante. [6][7]

Definiciones básicas

A continuación se presentan algunos fundamentos básicos para la aplicación de la geoestadística, [6].

Variable regionalizada

“Una variable medida en el espacio de forma que presente una estructura de correlación, se dice que es una variable regionalizada. De manera más formal se puede definir como un proceso estocástico con dominio contenido en un espacio euclidiano d -dimensional R^d , $\{Z(x): x \in D \subset R^d\}$ ” [6].

Proceso estocástico

“Es una colección de variables aleatorias indexadas; esto es, para cada x en el conjunto de índices D , $Z(x)$ es una variable aleatoria” [6].

Momentos de una Variable Regionalizada [6].

Sea $\{Z(x): x \in D \subset R^d\}$ el proceso estocástico que define la variable regionalizada.

Para cualquier n puntos $x_1, x_2, \dots, x_n$ vector aleatorio $\vec{Z}(x) = [Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_n)]^T$ está definido por su función de distribución conjunta $F[z_1, z_2, \dots, z_n] = P[Z(x_1) \leq z_1, Z(x_2) \leq z_2, \dots, Z(x_n) \leq z_n]$

Conocidas las densidades marginales univariadas y bivariadas se pueden establecer los siguientes valores esperados (momentos univariados y bivariados):

- $E(Z(x_i)) = m(x_i)$
- $V(Z(x_i)) = E[Z(x_i) - m(x_i)]^2 = \sigma_i^2$
- $C(Z(x_i), Z(x_j)) = E[Z(x_i) - m(x_i)][Z(x_j) - m(x_j)]$
- $\gamma(Z(x_i), Z(x_j)) = \frac{1}{2} E[Z(x_i) - Z(x_j)]^2$

Estacionariedad [6].

La variable regionalizada es estacionaria si su función de distribución conjunta es invariante respecto a cualquier translación del vector h , o lo que es lo mismo, la función de distribución del vector aleatorio $\vec{Z}(x) = [Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_n)]^T$ es idéntica a la del vector $\vec{Z}(x) = [Z(x_1 + h), Z(x_2 + h), \dots, Z(x_n + h)]^T$ para cualquier h . La teoría geoestadística se basa en los momentos arriba descritos y la hipótesis de estacionariedad puede definirse en términos de:

- Estacionariedad de segundo orden
- Estacionariedad débil o intrínseca

Estacionariedad de Segundo Orden [6].

Sea $\{Z(x) : x \in D \subset R^d\}$ una variable regionalizada definida en un dominio D contenido

en R^d (generalmente una variable medida en la superficie de una región) se dice que $Z(x)$ es estacionario de segundo orden si cumple:

a. $E[Z(x)] = m, k \in R, \forall x \in D \subset R^d$

El valor esperado de la variable aleatoria es finito y constante para todo punto en el dominio.

b. $COV[Z(x), Z(x+h)] = C(h) < \infty$

Para toda pareja $\{Z(x), Z(x+h)\}$ la covarianza existe y es función única del vector de separación h .

Estacionariedad Débil o Intrínseca [6].

Existen algunos fenómenos físicos reales en los que la varianza no es finita. En estos casos se trabaja sólo con la hipótesis que pide que los incrementos $[Z(x+h) - Z(x)]$ sean estacionarios, esto es (Clark, 1979):

a. $Z(x)$ tiene esperanza finita y constante para todo punto en el dominio. Lo que implica que la esperanza de los incrementos es cero.

$$E[Z(x+h) - Z(x)] = 0$$

b. Para cualquier vector h , la varianza del incremento está definida y es una función única de la distancia.

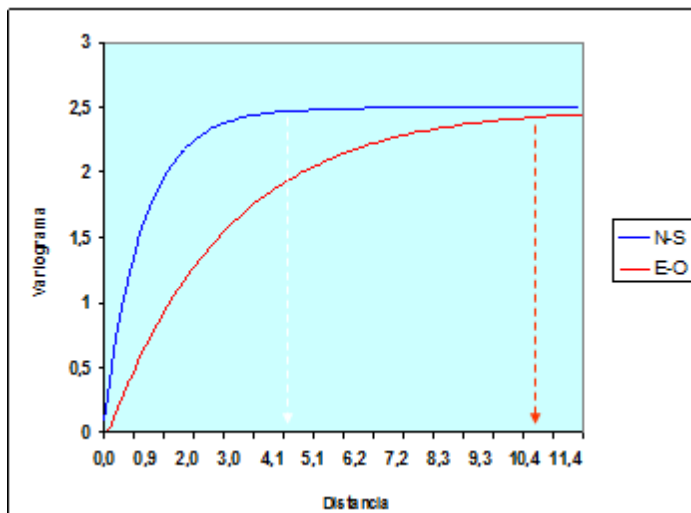
$$V[Z(x+h) - Z(x)] = E[Z(x+h) - Z(x)]^2 = 2\gamma(h)$$

Anisotropía

Cuando la correlación entre los datos depende de la dirección en la que esta se calcule, se dice que el fenómeno es anisotrópico. [6]

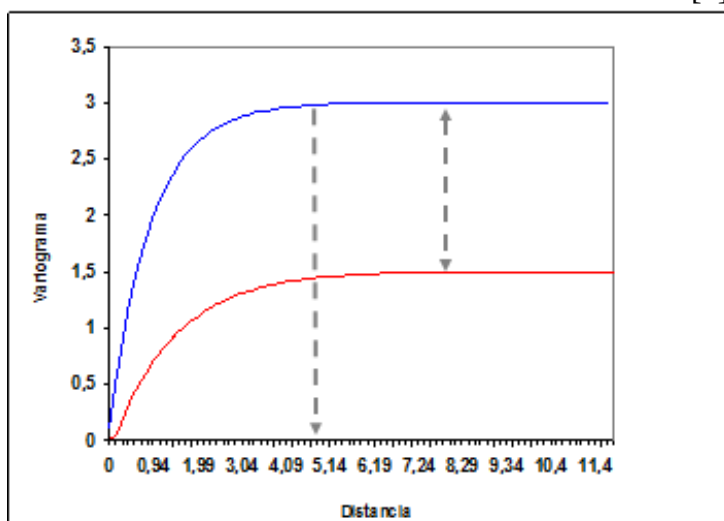
Anisotropía geométrica

Es aquella en la que el variograma en distintas direcciones presenta igual meseta pero rangos distintos. [6]



Anisotropía zonal

Es aquella en la que el variograma en distintas direcciones presenta el mismo rango pero diferente meseta. Presencia de diferentes estructuras. [6]



Análisis Exploratorio de Datos

El análisis exploratorio de datos tiene como objetivo identificar el modelo teórico que mejor represente a los datos en estudio, analizando el conjunto de datos y resumiendo sus características principales. El AED se basa en gráficos y medidas de resumen que dan una idea inicial de la información contenida en los datos.

El AED tiene como objetivos:

- Evaluar la calidad y consistencia de los datos.
- Estudiar la distribución de las variables estudiadas.
- Aplicar el tratamiento de datos ausentes.
- Detectar outliers (casos atípicos).
- Comprobar distribución de los datos (normalidad, linealidad)

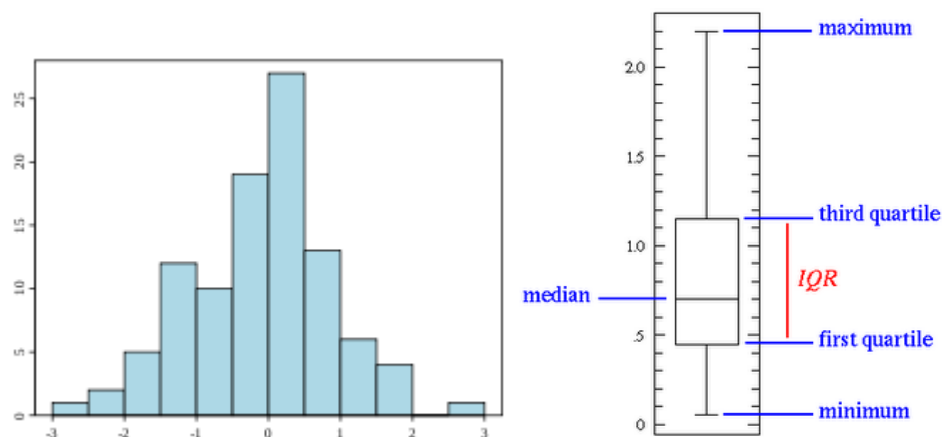
Las medidas de resumen se pueden dividir en dos categorías:

- Medidas de tendencia central: media, mediana, moda.
- Medidas de dispersión: desviación estándar, curtosis, asimetría.

Entre los gráficos más utilizados se encuentran los histogramas y los diagramas de cajas.

Un histograma es una representación gráfica de los valores producidos por las variaciones de una determinada característica, representando la frecuencia con que se presentan distintas categorías dentro de dicho conjunto. Permite resumir grandes cantidades de datos, y analizarlos de forma gráfica.

El diagrama de cajas es un gráfico que representa las distribuciones de un conjunto de datos. Para su construcción se utilizan las medidas de resumen: mediana, primer cuartil, tercer cuartil, máximo y mínimo. Esta representación gráfica muestra información sobre la tendencia central, la dispersión y la simetría de los datos. Al igual que los histogramas, permiten detectar valores atípicos. El gráfico consiste en una caja rectangular donde los extremos de la caja representan los cuartiles primero y tercero, y además está dividida por un segmento que representa a la mediana (segundo cuartil). La caja se ubica a escala sobre un segmento que tiene como extremos el valor máximo y el mínimo de los datos (llamados bigotes).



Correlación Espacial Muestral y Ajuste de Modelos

En la segunda etapa del análisis geoestadístico, se pueden utilizar tres funciones para determinar la dependencia espacial entre los datos medidos de una variable. Estas funciones de dependencia son: el semivariograma, el covariograma y el correlograma. [6]

Aunque cualquiera de estas funciones pueden ser usadas bajo el supuesto de estacionariedad, se opta por la función de semivarianza, pues no requiere estimación de parámetros. Por tal motivo, en la práctica se emplea fundamentalmente el semivariograma. [6]

Variograma y semivariograma

La función variograma permite medir la relación que existe entre los datos de acuerdo con la cercanía (h) entre los sitios y se denota por $2\hat{\gamma}(h)$. [6]

$$\begin{aligned} 2\hat{\gamma}(h) &= V[Z(x) - Z(x+h)] = E[Z(x) - Z(x+h)]^2 - (E[Z(x) - Z(x+h)])^2 \\ &= E[Z(x) - Z(x+h)]^2 \end{aligned}$$

Sean:

- $Z(x)$ es el valor muestral de la variable en el sitio x .
- $Z(x+h)$ el valor de la variable, separada a una distancia h del sitio x .
- N el número de parejas de puntos muestreados a una distancia h .

La función de semivarianza se define como $\hat{\gamma}(h)$.

Esta función es estimada mediante el semivariograma experimental, realizando cálculos con datos de una muestra de sitios (estimador de momentos). [6]

Obteniendo la siguiente expresión:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{\sum (z(x+h) - z(x))^2}{2n(h)}$$

El semivariograma experimental es calculado para algunas distancias particulares, para realizar la predicción mediante el uso de alguno de los distintos métodos kriging, se necesita tener conocimiento de la estructura de autocorrelación, para cualquier distancia entre sitios dentro del área de estudio.

Es necesario entonces, ajustar lo observado en el semivariograma experimental, a cualquier distancia, utilizando para esto, alguno de los diversos modelos teóricos de semivarianza. [6]

Los distintos modelos teóricos de semivarianza tienen tres parámetros comunes que se describen a continuación:

- Efecto nugget:

En la práctica, las funciones obtenidas del semivariograma pueden presentar discontinuidad en el origen, a esta discontinuidad se le llama efecto nugget y se denota C_0 .

La discontinuidad puede deberse a errores en la medición de las variables o a la escala de la misma. [6] *“Puede ser indicativo de que parte de la estructura espacial se concentra a distancias inferiores a las observadas”* [6].

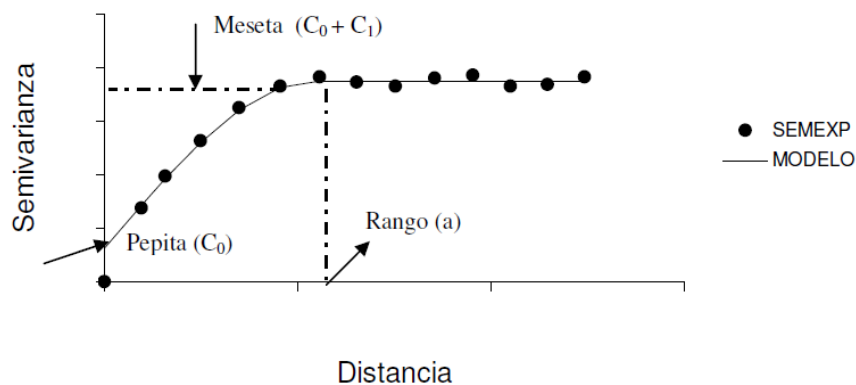
- Meseta:

Varianza de los datos. Se denota por C_1 o por $(C_0 + C_1)$ cuando el nugget es diferente de cero. *“Se sugiere que en un modelo que explique bien la realidad, el nugget no debe representar más del 50% de la meseta”*. [6].

Se pueden obtener predicciones muy imprecisas, si el ruido espacial en las mediciones, incide en mayor medida en la variabilidad, que la correlación del fenómeno.

- **Rango:**

Es la distancia hasta la cual hay correlación entre los datos. *Entre más pequeño sea el rango, más cerca se está del modelo de independencia espacial. El rango no siempre aparece de manera explícita en la fórmula del semivariograma*. [6]



Comportamiento típico de un semivariograma acotado con una representación de los parámetros básicos. SEMEXP corresponde al semivariograma experimental y MODELO al ajuste de un modelo teórico [6].

Modelos teóricos de semivarianza

A continuación se presentan los modelos teóricos de semivarianza, con sus respectivos gráficos y expresiones matemáticas. Se utilizará la siguiente notación: C_0 representará la meseta, h el rango y a la distancia.

Modelo Esférico [6].

“Tiene un crecimiento rápido cerca al origen, pero los incrementos marginales van decreciendo para distancias grandes, hasta que para distancias superiores al rango los incrementos son nulos.

Su expresión matemática es la siguiente:”

$$\gamma(h) = \begin{cases} c_0 + c_1 \left(\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right) & h \leq a \\ c_0 + c_1 & h > a \end{cases}$$

Modelo Exponencial [6].

“Este modelo se aplica cuando la dependencia espacial tiene un crecimiento exponencial

respecto a la distancia entre las observaciones. El valor del rango es igual a la distancia para

la cual el semivariograma toma un valor igual al 95% de la meseta.

Su expresión matemática es la siguiente:”

$$\gamma(h) = c_0 + c_1 \left(1 - \exp\left(\frac{-3h}{a}\right) \right)$$

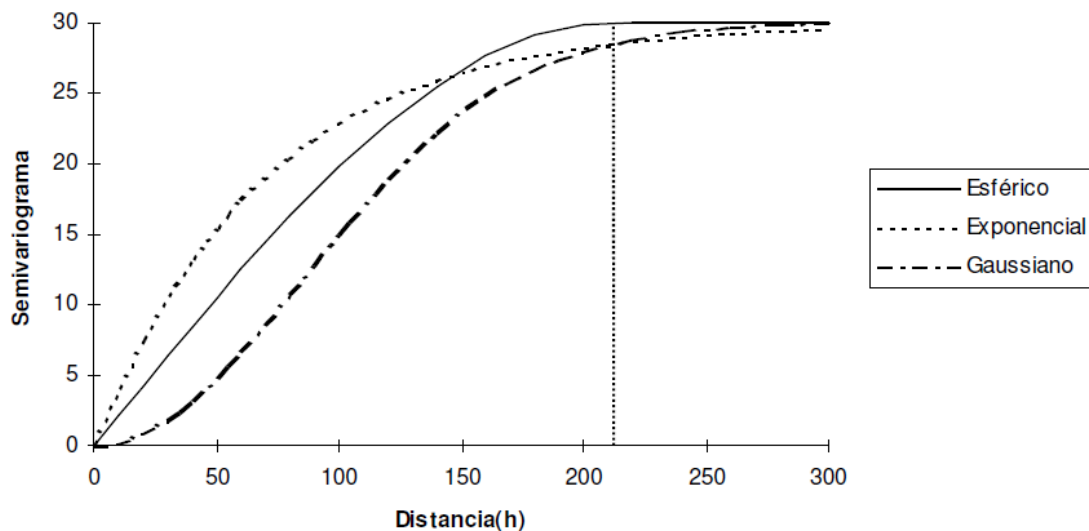
Modelo Gaussiano [6].

“Al igual que en el modelo exponencial, la dependencia espacial se desvanece solo en una distancia que tiende a infinito. El principal distintivo de este modelo es su forma parabólica cerca al origen.

Su expresión matemática es:”

$$\gamma(h) = c_0 + c_1 \left(1 - \exp\left(\frac{-h^2}{a^2}\right) \right)$$

Los modelos exponencial, esférico y Gaussiano garantizan que la covarianza de los incrementos es finita. La siguiente figura muestra un ejemplo comparativo entre ellos.



La línea punteada vertical representa el rango en el caso del modelo esférico y el rango efectivo en el de los modelos exponencial y gaussiano. Este tiene un valor de 210, respecto a una escala simulada entre 0 y 300. El valor de la meseta es 30 y el del nugget 0. El 95% de la meseta es igual a 28.5 [6].

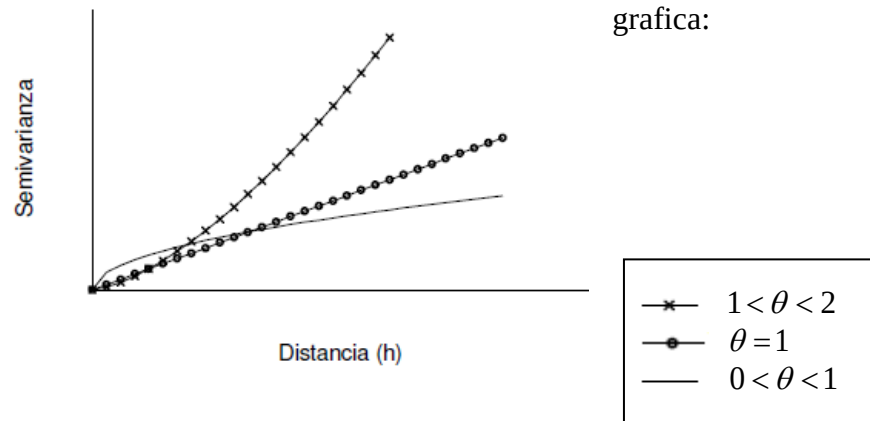
Modelo Monómicos [6].

“Corresponden a los modelos que no alcanzan la meseta. Su uso puede ser delicado debido a que en algunos casos indican la presencia de no estacionariedad en alguna dirección.”

Su expresión matemática es:

$$\gamma(h) = kh^\theta \quad 0 < \theta < 2$$

Su representación grafica:



Modelo de Independencia (Nugget Puro) [6].

“Es indicativo de carencia de correlación espacial entre las observaciones de una variable. Es común sumar este modelo a otro modelo teórico de semivarianza, para obtener lo que se conoce como semivariograma anidado.”

Su expresión matemática es:”

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & h = 0 \\ c_0 & h > 0 \end{cases} \quad \text{donde } c_0 > 0$$

Su representación grafica:



Predicción Espacial

Luego de realizado el análisis estructural, se está en condiciones de efectuar la predicción de valores para la variable, en puntos que pertenecen a la región de estudio y no han sido muestreados. La predicción antes mencionada se logra utilizando alguno de los métodos kriging, que “*se fundamentan en la minimización del error cuadrático medio de predicción*” [6].

En la siguiente tabla se mencionan los tipos de kriging y alguna de sus propiedades. [6]

TIPO DE PREDICTOR	NOMBRE	PROPIEDADES
LINEAL	• Simple • Ordinario • Universal	• Son óptimos si hay normalidad multivariada • Independiente de la distribución son los mejores predictores linealmente insesgados.
NO LINEAL	• Indicador • Probabilístico • Log Normal, Trans-Gaussiano • Disyuntivo	• Son predictores óptimos

Se mencionaran a continuación algunos aspectos generales de los métodos de predicción espacial kriging antes mencionados.

Kriging Ordinario [6].

“Suponiendo que se tiene las mediciones de la variable de interés Z en los puntos x_i , $i=1,2,\dots, n$, de la región de estudio, es decir se tienen realizaciones de las variables $Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_n)$, y se desea predecir $Z(x_0)$, en el punto x_0 donde no hubo medición. En esta circunstancia, el método kriging ordinario propone que el valor de la variable puede predecirse como una combinación lineal de las n variables aleatorias así:

$$Z^*(x_0) = \lambda_1 Z(x_1) + \lambda_2 Z(x_2) + \lambda_3 Z(x_3) + \lambda_4 Z(x_4) + \lambda_5 Z(x_5) + \dots + \lambda_n Z(x_n)$$

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

en donde los λ_i representan los pesos o ponderaciones de los valores originales. Dichos pesos se calculan en función de la distancia entre los puntos muestreados y el punto donde se va a hacer la correspondiente predicción. La suma de los pesos debe ser igual a uno para que la esperanza del predictor sea igual a la esperanza de la variable. Esto último se conoce como el requisito de insesgamiento.”

Estadísticamente la propiedad de insesgamiento se expresa a través de:

$$E(Z^*(x_0)) = E(Z(x_0))$$

Kriging Simple [6].

“Suponga que hay una variable regionalizada estacionaria con media (m) y covarianza conocidas. De manera análoga a como se define en modelos lineales (por ejemplo en diseño de experimentos) el modelo establecido en este caso es igual a la media más un error aleatorio con media cero. La diferencia es que en este caso los errores no son independientes.

Sea $Z(x)$ la variable de interés medida en el sitio x .”

$$E[Z(x)] = m$$

$$Z(x) = m + \varepsilon(x) \text{ con } E[\varepsilon(x)] = 0$$

El predictor de la variable de interés en un sitio x_0 donde no se tiene información se define como:

$Z^*(x_0) = m + \varepsilon^*(x_0)$, con $\varepsilon^*(x_0)$ corresponde a la predicción del error aleatorio en el sitio x_0 .

Despejando de la ecuación anterior

$$\varepsilon^*(x_0) = Z^*(x_0) - m$$

El predictor del error aleatorio se define por:

$$\varepsilon^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \varepsilon(x_i) = \sum_{i=1}^n \lambda_i (Z(x_i) - m)$$

En donde el predictor de la variable de estudio es:

$$Z^*(x_0) = m + \left[\sum_{i=1}^n \lambda_i (Z(x_i) - m) \right] = m + \sum_{i=1}^n \lambda_i \varepsilon(x_i)$$

Kriging en Bloques [6].

“En los dos métodos kriging hasta ahora descritos el objetivo ha estado centrado en la predicción puntual. A menudo, sin embargo, se requiere estimar un bloque, o más precisamente, estimar el valor promedio de la variable dentro de un área local.”

El valor promedio dentro del bloque es estimado por:

$$\bar{Z}(A) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

Kriging Universal [6].

“En los supuestos hechos hasta ahora respecto a los métodos kriging se ha asumido que la variable regionalizada es estacionaria (al menos se cumple con la hipótesis intrínseca).

En muchos casos, la variable no satisface estas condiciones y se caracteriza por exhibir una tendencia. Para tratar este tipo de variables es frecuente descomponer la variable $Z(x)$ como la suma de la tendencia, tratada como una función determinística, más una componente estocástica estacionaria de media cero.”

Asuma que:

$$Z(x) = m(x) + \varepsilon(x) \quad \text{con } E(\varepsilon(x)) = 0 \quad , \quad V(\varepsilon(x)) = \sigma^2 \quad \text{y por consiguiente}$$

$$E(Z(x)) = m(x)$$

La tendencia puede expresarse mediante:

$$m(x) = \sum_{l=1}^p a_l f_l(x) \quad \text{donde las funciones } f_l(x) \text{ son conocidas y } p \text{ es el número de términos empleados para ajustar } m(x).$$

El predictor kriging universal se define como:
$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

Kriging Residual [6].

La técnica kriging residuales empleada bajo las mismas circunstancias del kriging universal, es decir en aquellos casos en que la variable regionalizada no es estacionaria debido a la presencia de tendencia espacial en el valor promedio de la variable. La hipótesis central del kriging residual consiste en suponer conocida la tendencia $m(x)$. A partir de ella se calculan los residuos con base en los cuales se aplica kriging ordinario. La estimación de la tendencia es generalmente llevada a cabo por medio de mínimos cuadrados.

La predicción en un sitio no muestreado es igual a la tendencia estimada más la predicción del error, es decir:

$$Z^*(x_0) = \hat{m}(x_0) + e^*(x_0)$$

$$e^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i e(x_i)$$

Los pesos o ponderaciones son estimados por kriging ordinario. La varianza de predicción de la variable de interés coincide con la varianza de predicción de los errores.

Kriging Indicador [6].

“Suponga que se tiene una variable regionalizada $\{Z(x) : x \in D \subset R^d\}$ estacionaria. Se define la siguiente transformación:

$$I(x_i, z_l) = \begin{cases} 1 & \text{Si } Z(x_i) \leq z_l \\ 0 & \text{Otro caso} \end{cases}$$

Algunas propiedades son las siguientes:

- i. $\Pr(I(x, z_l) = 1) = \Pr(Z(x) \leq z_l) = F(z_l)$
- ii. $E(I(x, z_l)) = 1 \Pr(I(x, z_l) = 1) + 0 \Pr(I(x, z_l) = 0)$
 $= 1 \Pr(I(x, z_l) = 1) = F(z_l)$

El predictor kriging indicador es igual a:

$$I^*(x_0, z_l) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(z_l) I(x_i, z_l)$$

Es decir que la predicción de la función indicadora en el sitio x_0 es igual a una combinación lineal de las n funciones indicadoras evaluadas en los sitios de medición.”

Kriging Log-Normal [6].

“Se hacen transformaciones de la variable regionalizada con el propósito de normalizar en cada sitio de la región de estudio.

Consiste en aplicar kriging ordinario a la transformación logarítmica de los datos.

Veamos:

Sea $\{Z(x): x \in D\}$ variable regionalizada log-normal. Es decir que $Y(x) = \text{Log}(Z(x))$ tiene distribución normal. Algunas veces se requiere adicionar una constante positiva de tal forma que $Y(x)$ esté definida.

El predictor kriging log-normal es:

$$Y^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Y(x_i)$$

Los pesos se obtienen de manera análoga al kriging ordinario. El semivariograma usado es el de los valores transformados. La complicación práctica puede darse al hacer la retransformación a la escala original, puesto que $Z^*(x_0) = \exp(Y^*(x_0))$ es un predictor sesgado.”

Kriging multi-gaussiano [6].

“Suponga que se tiene una variable regionalizada $\{Z(x): x \in D\}$ estacionaria. Este procedimiento consiste en hacer una transformación de $Z(x)$ tal que los valores transformados sigan una distribución normal estándar. En ese sentido es una generalización del kriging log-normal.

Los pasos del método kriging multi-gaussiano son los siguientes:

- iii. Se encuentra la función de probabilidad acumulada empírica $F_n(Z(x))$.*
- iv. Se calculan con base de $F_n(Z(x))$ los “scores” normales estándar, es decir los valores de una distribución de probabilidad normal estándar para los cuales la probabilidad acumulada corresponde a $F_n(Z(x))$. En otras palabras se encuentra*

$$U(x) = \Phi^{-1}(F_n(Z(x)))$$

- v. Se realiza kriging simple sobre los valores transformados. “*

Referencias

1. LEIVA, Fabio R. Aproximación al manejo sitio-específico del suelo para una agricultura sostenible y competitiva en Colombia. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2006.
2. BONGIOVANNI, Rodolfo; CHARTUNI MANTOVANI, Evandro; BEST, Stanley; ROEL, Álvaro. AGRICULTURA DE PRECISIÓN: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 2006.
3. EGHBALL, Bahman; VARVEL, Gary E., Fractal Analysis of Temporal Yield Variability of Crop Sequences: Implications for Site-Specific Management (1997)
4. EGHBALL, Bahman; SCHEPERS, James S.; NEGAHBAN, Mehrdad ; SCHLEMMER, Michael R., Spatial and Temporal Variability of Soil Nitrate and Corn Yield: Multifractal Analysis (2003).
5. EHSANI; KARIMI; LEE, Fractal Analysis of yield Maps (2007)
6. GIRALDO, R. Introducción a la Geoestadística: Teoría y Aplicación. Departamento de Estadística, Universidad Nacional de Colombia, 2002. 97 p.
7. LERMA MARTINEZ, David; GAONA SERRANO, Raúl. DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CÓMPUTO PARA LA MODELACIÓN GEOESTADÍSTICA DE FENÓMENOS ESPACIALES .Director: Dr. Martín Alberto Díaz Viera.[Tesis]. Ingeniería en Sistemas Computacionales con Especialidad en Sistemas. Escuela Superior de Cómputo, IPN. México, junio de 2005.
8. GONZALEZ NARVAEZ, Mariela; GUERRERO LOOR, Fernando. GEOESTADÍSTICA APLICADA A LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA CULTIVOS. Director: Fernando Guerrero L. [Tesis].Ingeniera en Estadística Informática. Guayaquil- Ecuador, 2002.160p
9. ELZINGA, Caryl L.; SALZER, Daniel W.; WILLOUGHBY, John W. Measuring & Monitoring Plant Populations. Publicado por: Bureau of Land Management, U.S. Department of the Interior, Julio, 1998.
10. BERMUDEZ, Manuel. Enfoques del manejo sitio específico de fósforo en maíz y soja: comparación de aplicación variable vs. Uniforme. [en línea]. <<http://www.planetasoja.com.ar/trabajos/trabajos800.php?id1=21225&publi=&idSec=12&id2=21227>>. [consulta: 26 mayo 2012]
11. BLACKMORE, Simon; GODWIN, Richard J.; FOUNTAS, Spyros. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. Biosystems Engineering, Volume 84, Issue 4, Paginas 455-466. DOI 10.1016/S1537-5110(03)00038-2. Publicado por Elsevier Science Ltd. 2003.

12. OLIVE, David K.; GRANT, Michael C. Scaling patterns of biomass and soil properties: an empirical analysis. Publicado por Landscape ecology, 2002, Volumen 17, N° 1, Páginas 13-26.
13. VASQUEZ POLO, Jose. Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas en suelos de la granja experimental de la Universidad de Magdalena (Colombia). Publicado en Colombia, Acta Agronómica, ISSN: 0120-2812, Editorial Feriva v.57 fasc.4, paginas 449-456, 2010.
14. BRICEÑO VALERA, Francisco; FERNANDEZ TORRENS, Oswaldo; PEÑA, Agustín; FACCIN, Emelin. Evaluación agronómica con técnicas de agricultura de precisión en parcelas de café (Coffea arabica) en la cuenca del Rio Castan. Estado Trujillo. Publicado por: Revista ACADEMIA - Trujillo - Venezuela - ISSN 1690-3226 - Enero-Junio. Volumen X (19), 2011.
15. Apuntes teóricos del curso Introducción a la investigación de operaciones – Carrera Ing. en computación - Facultad de Ingeniería. Disponible en <<http://www.fing.edu.uy/inco/cursos/io/archivos/teorico/todo.pdf>> [Consulta: 21 de Setiembre 2012]
16. FERRERO, Marta B.; CHIOTTI, Omar J. A. Modelado, Simulación y Optimización de Procesos Químicos. Autor: Nicolás J. Scenna y col. ISBN: 950-42-0022-2 - ©1999.
17. ARIFIN, Shamsul. Location Allocation problem using genetic algorithm and simulated annealing: A case study based on school in Enschede. Enschede, The Netherlands, 2010. Disponible en <http://www.itc.nl/library/papers_2011/msc/gfm/arifin.pdf> [Consulta: 22 de Setiembre 2012]
18. PÉREZ V., César. Aplicación de entornos virtuales para la exploración y búsqueda de información. Tesis doctoral – Departamento de lenguajes y sistemas informáticos e ingeniería del software – Facultad de informática – Universidad Politécnica de Madrid. Año 2004. Disponible en <http://oa.upm.es/175/1/Cesar_Perez_Vasquez.pdf>. [Consulta: 24 de Setiembre 2012]
19. SIQUEIRA, G.M.; VIEIRA, S.R.; SOUZA, Z.M.; DAFONTE, J.; PAZ, A. Utilización de herramientas estadísticas y geoestadísticas para optimización del muestreo de propiedades físicas del suelo. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo Vol. VIII. J.V. Giráldez Cervera y F.J. Jiménez Hornero, 2007. Disponible en <http://www.zonanosaturada.com/publics/ZNS07/area_2/16.pdf> [Consulta: 16 de Setiembre 2012]
20. BRUS, Dick J.; HEUVELINK, Gerard B. M. Optimization of sample patterns for universal kriging of environmental variables. Soil Science Centre, Wageningen University and Research Centre, P.O. Box 47, 6700 AA Wageningen, The Netherlands. Año 2006. Disponible en: <http://www.beg.utexas.edu/gccc/bookshelf/optimization%20of%20observation%20networks/Optimization%20of%20sample%20patterns%20for%20universal%20kriging.pdf> [Consulta: 16 de Setiembre 2012]

Proyecto de Grado
2012

Optimización de muestreo agrícola Manual de usuario



Anexo – Proyecto de grado 2012

Gonzalo Parente
Nicolás Oliveri
Martin Varela

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	43
2. REQUERIMIENTOS	43
3. INSTALACIÓN	44
4. CARACTERIZACIÓN DE LA VARIABILIDAD TEMPORAL	48
4.1. DESCRIPCIÓN	48
4.2. CONTROLES	49
4.2.1. A - Capas de muestreo	49
4.2.2. B – Capa base	49
4.2.3. C – Nivel de estabilidad	50
4.2.4. D – Tipo de red	50
4.2.5. E – Filas/Columnas o Alto/Ancho.....	50
4.2.6. F – Ruta destino de capa.....	50
4.2.7. G – Mostrar ayuda	50
4.3. RESULTADOS	51
5. DISEÑO DE MUESTREO.....	53
5.1. DESCRIPCIÓN	53
5.2. CONTROLES	54
5.2.1. A – Archivo de zonificación	54
5.2.1. B – Variables.....	54
5.2.2. C – Tipo de red.....	54
5.2.3. D – Filas/Columnas o Alto/Ancho	55
5.2.4. E – Capa de muestreo	55
5.2.5. F – Mostrar ayuda	55
5.3. RESULTADOS	55
6. OPTIMIZACIÓN DE MUESTREO	57
6.1. DESCRIPCIÓN	57
6.2. CONTROLES	58
6.2.1. A – Capa de muestreo	58
6.2.2. B – Método de estimación	58
6.2.3. C – Carpeta destino	58
6.2.4. D – Rango	58
6.2.5. E – Número de muestras	58
6.2.6. F – % Error (MAPE).....	59
6.2.7. G – Parámetros SSA.....	59
6.2.8. H – Mostrar ayuda	59
6.3. RESULTADOS	60
6.3.1. Capas generadas.....	61
6.3.2. Archivo de texto.....	61

1. Introducción

Esta herramienta de optimización de muestreo, caracteriza la variabilidad temporal y espacial de la productividad de diferentes cultivos agrícolas, determinando el número y localización óptimos para el muestreo de nutrientes. Se integra al sistema de información geográfica ArcGIS.

2. Requerimientos

El add-in es compatible con las versiones 10.0 y 10.1 de ArcGIS Desktop, si no tiene instalado ArcGIS Desktop verifique los requerimientos del sistema en:

ArcGIS 10.0:

<http://resources.arcgis.com/es/content/arcgisdesktop/10.0/arcgis-desktop-system-requirements>

ArcGIS 10.1:

<http://resources.arcgis.com/es/help/system-requirements/10.1/index.html#//015100000002000000>

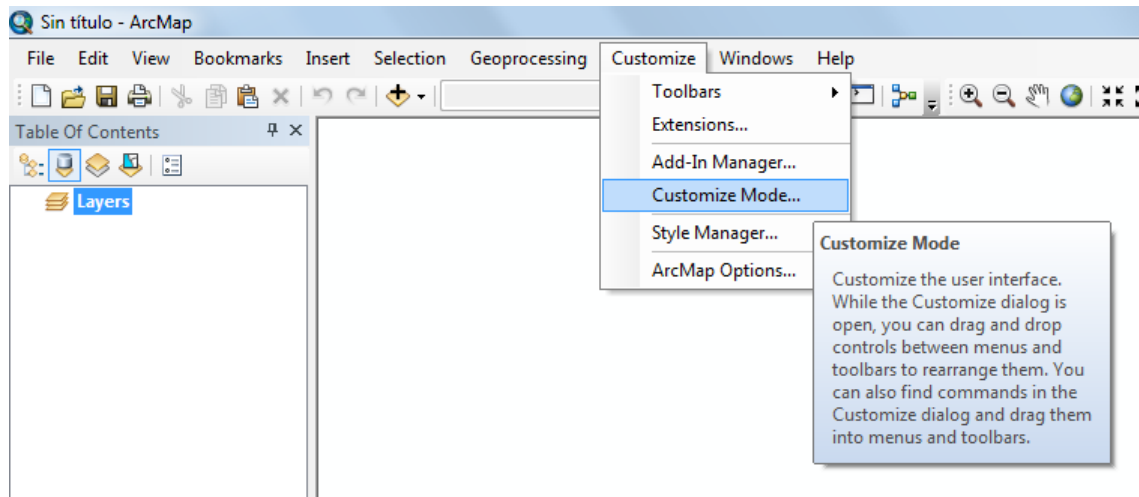
Para que todas las funcionalidades del add-in funcionen correctamente, ArcGIS Desktop debe contar con el nivel de licencia Advanced (ArcInfo).

3. Instalación

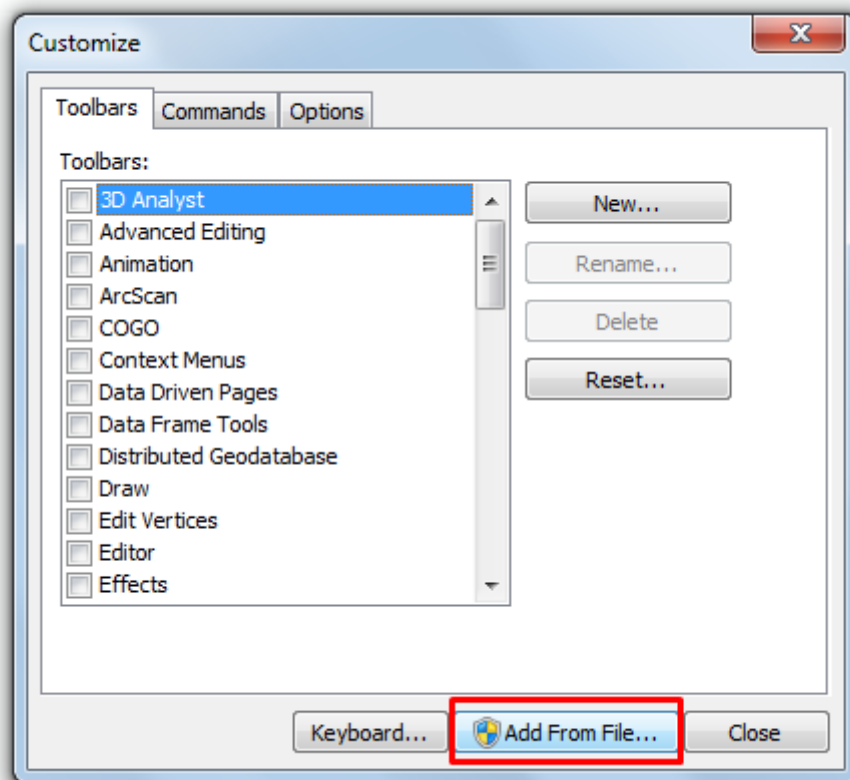
A continuación se describen los pasos necesarios para la instalación del add-in. Cabe destacar que la instalación no es diferente de la clásica instalación de add-in en ArcMap.

Desde la ventana principal de su versión de ArcMap siga la siguiente secuencia de pasos:

Haga clic en *Customize -> Customize Mode...*



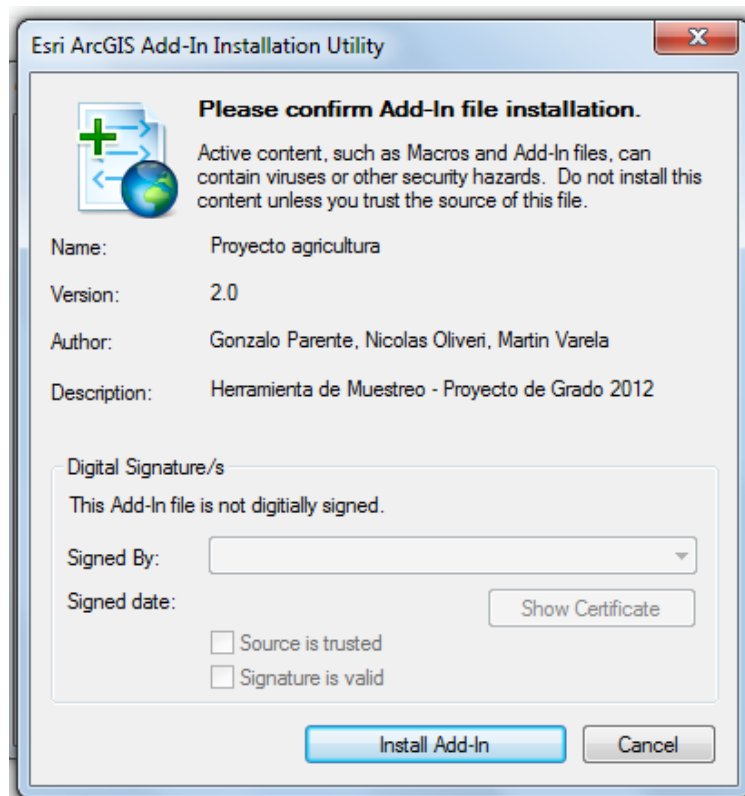
Haga clic en *Add From File...*



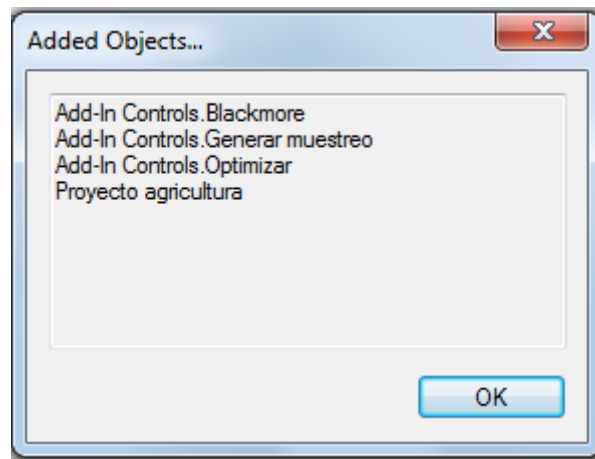
Seleccione la ruta local donde se encuentra el add-in a instalar y haga clic en *Abrir*.



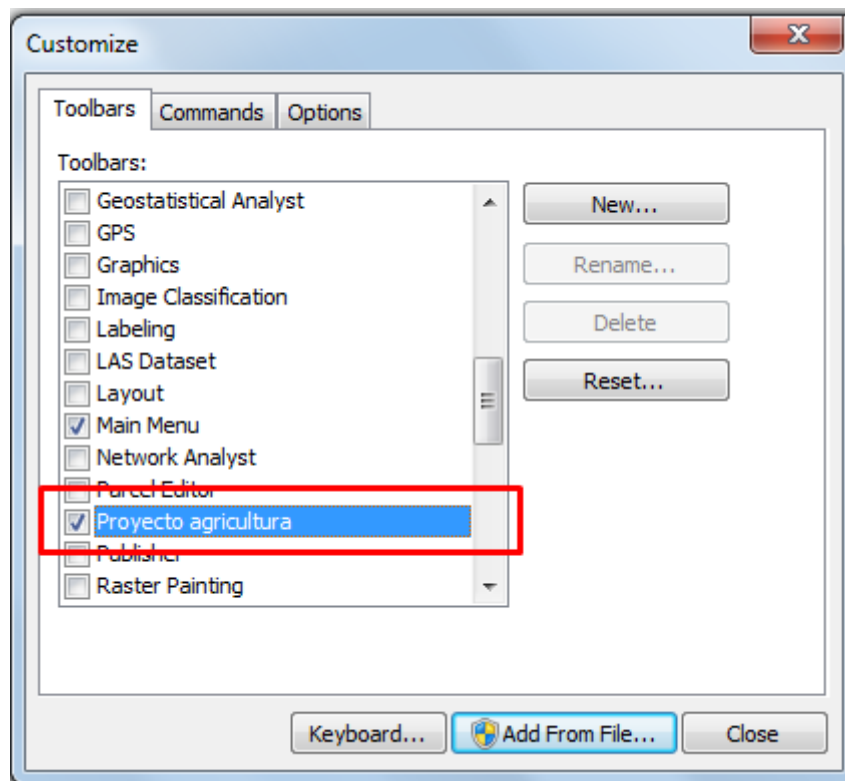
Compruebe que el add-in sea el correcto y confirme la instalación haciendo clic en *Install Add-In*.



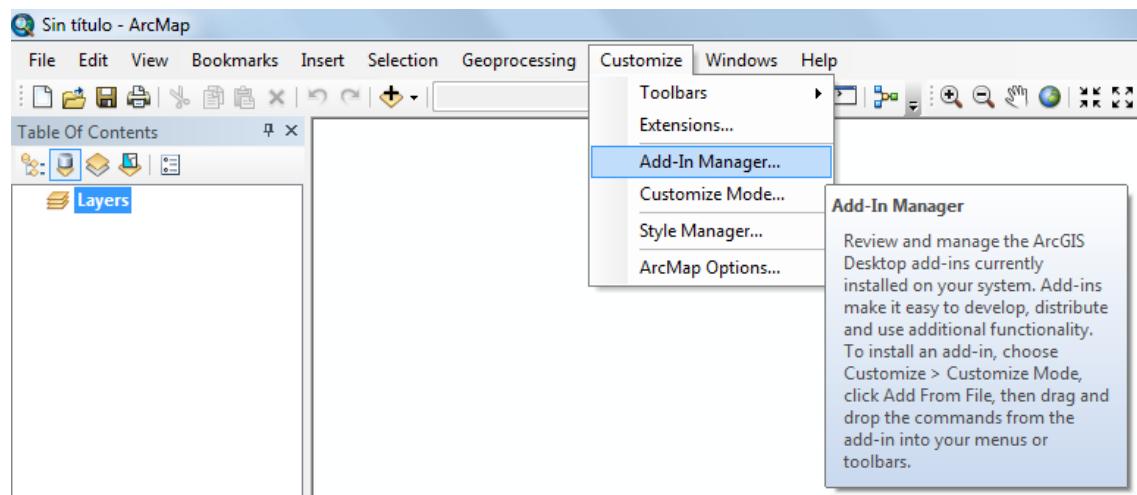
Compruebe los controles instalados sean los siguientes y haga clic en *OK*.



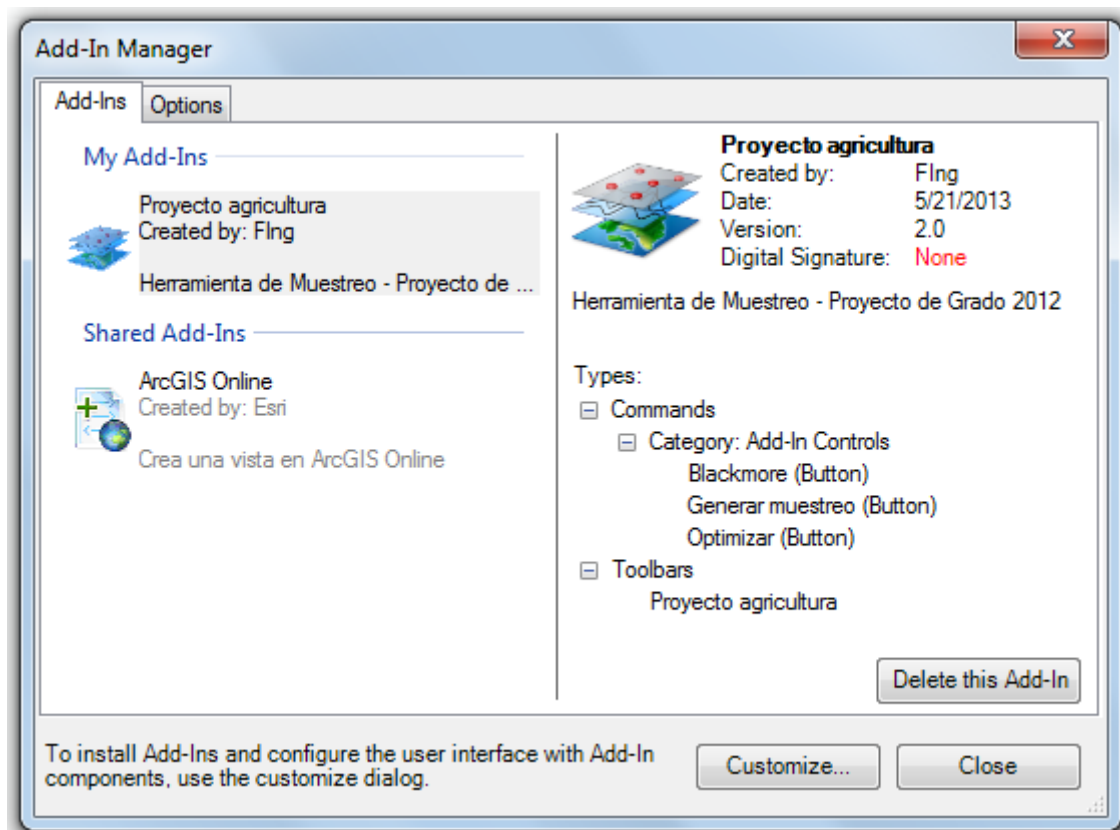
Haga clic en *Proyecto agricultura* para que la barra de herramientas quede visible en ArcMap.



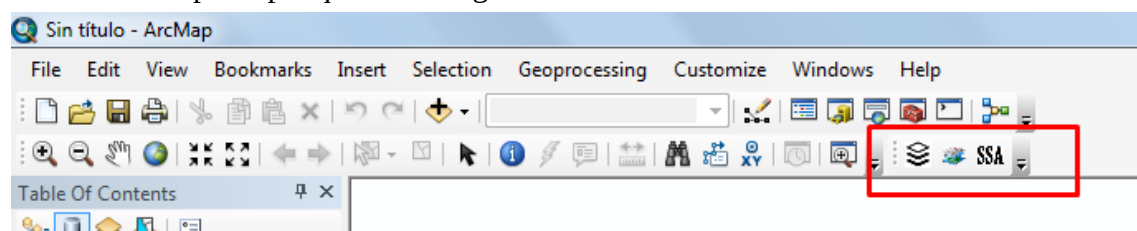
Como forma de comprobar que la instalación ha tenido éxito, puede hacer clic en *Customize -> Add-In Manager...*



Y comprobar que el add-in ha sido instalado.



En la ventana principal quedará integrada la herramienta



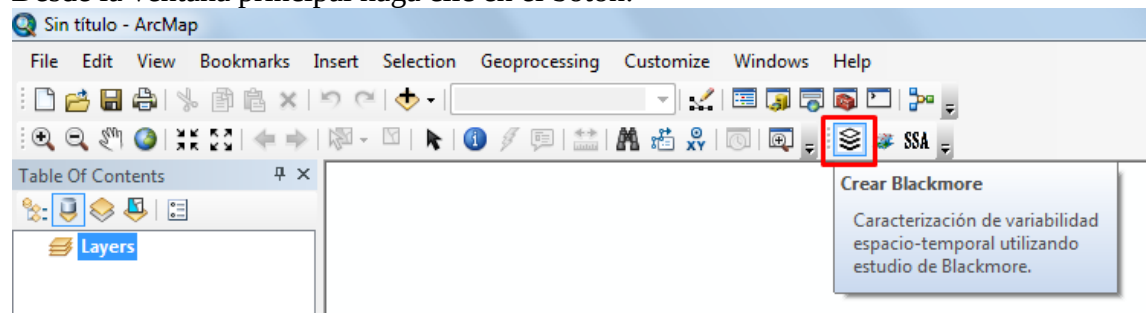
4. Caracterización de la variabilidad temporal

Descripción

Esta funcionalidad permite caracterizar la variabilidad espacio-temporal de un campo a partir de un histórico de datos, utilizando como técnica el estudio de Blackmore.

El usuario elige los mapas continuos en el espacio a utilizar, realizando una selección sobre los mapas cargados en ArcMap. Luego para cada uno de los mapas seleccionados, deberá elegir el atributo con el cual se realizará la caracterización de la variabilidad temporal.

Desde la ventana principal haga clic en el botón:



Controles

Usar	Capas	Atributo
☒	rindes_soja_2010_311_lote12_1	IDESTAB
☐	rindes_trigo_2010_311_lote12_1	ID_obj_
☐	rindesp_maiz2_2011_311_lote12_1	ID_obj_

A

B Capa base **C** Nivel de estabilidad 1

D Tipo de red Cantidad de celdas

E Filas **F** Columnas

F Ruta destino de capa

G Aceptar Cancelar Mostrar ayuda >>

A - Capas de muestreo

En esta tabla se muestran todas las capas abiertas en ArcMap que tienen por lo menos un atributo de tipo numérico. Para cada capa visible se tiene la información de su nombre y una lista con todos los atributos de tipo numérico que posee.

Para la ejecución del estudio se deben seleccionar al menos dos capas.

B – Capa base

En este combo se listan las capas que fueron seleccionadas en la sección A.

Se deberá seleccionar una de ellas para servir de capa base, esta capa base será utilizada para definir los límites del estudio a realizar.

C – Nivel de estabilidad

En este parámetro se indica el nivel de estabilidad, el cual será utilizado como valor límite para determinar si una sección de campo es estable o inestable.

Para identificar que una sección de campo es estable o inestable, además de definir el nivel de estabilidad, se estudia para cada una ellas su coeficiente de variabilidad ($CV = \sigma / \bar{x}$, donde σ es la desviación estándar y $\bar{x}$ es la media del campo en todos los periodos de tiempo). Luego como se mencionó anteriormente se compara el valor obtenido del CV para cada sección de campo contra el nivel de estabilidad definido por el usuario (valor límite). Si el CV es superior al nivel de estabilidad, definimos la zona como inestable, de lo contrario la zona será estable.

D – Tipo de red

Define la forma en que se crearan las zonas para el estudio de la variabilidad. Se puede definir cada zona indicando la cantidad de celdas a crear o bien indicar el tamaño de cada una de las celdas.

E – Filas/Columnas o Alto/Ancho

Dependiendo de la selección en la sección D, en esta sección se especifican los valores para la creación de cada zona.

En caso de que el tipo de red se defina por cantidad de celdas, en esta sección se deben especificar la cantidad de filas y la cantidad de columnas en la que se dividirá el campo.

En caso de que el tipo de red se defina por tamaño de celdas, se deben especificar el alto y ancho de cada celda en metros.

F – Ruta destino de capa

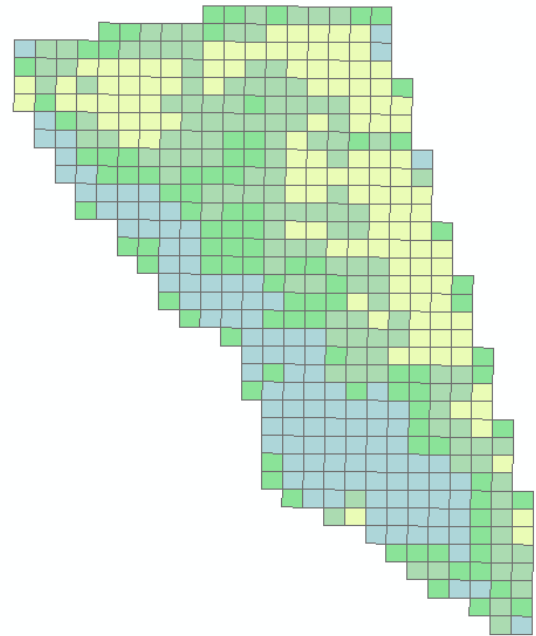
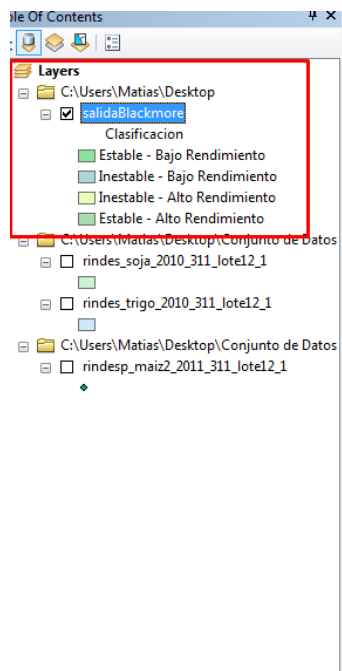
Ruta donde se guardarán los archivos generados en la salida luego de la ejecución.

G – Mostrar ayuda

Se despliega una ventana con ayuda al contexto. El contenido de la ayuda se corresponde a la sección donde está situado el cursor

Resultados

Se muestra a continuación el resultado de la ejecución:



Como se puede apreciar en la leyenda del mapa, las diferentes clases según rendimiento y estabilidad se muestran en diferentes colores.

Table					
salidaBlackmore					
	FID	Shape *	CV	mean	clase
▶	0	Polygon	0.079694	3.939998	4
	1	Polygon	0.488112	2.098092	2
	2	Polygon	0.141553	3.356451	1
	3	Polygon	0.167032	4.121738	4
	4	Polygon	0.079834	3.705977	1
	5	Polygon	0.093296	3.626667	1
	6	Polygon	0.30452	2.83276	2
	7	Polygon	0.263872	2.838234	2
	8	Polygon	0.09674	3.392188	1
	9	Polygon	0.15919	4.025624	4

La tabla de datos de la capa tiene los siguientes campos:

- FID: es el identificador de la zona
- Shape*: es la geometría de la capa, en este caso “Polygon”
- CV: Representa el coeficiente de variación de cada zona
- Mean: representa la media de cada zona
- Clase: Es la clasificación de la zona según los valores de CV y mean, donde:

- o 1: Estable – Bajo Rendimiento
- o 2: Inestable – Bajo Rendimiento
- o 3: Inestable – Alto Rendimiento
- o 4: Estable – Alto Rendimiento

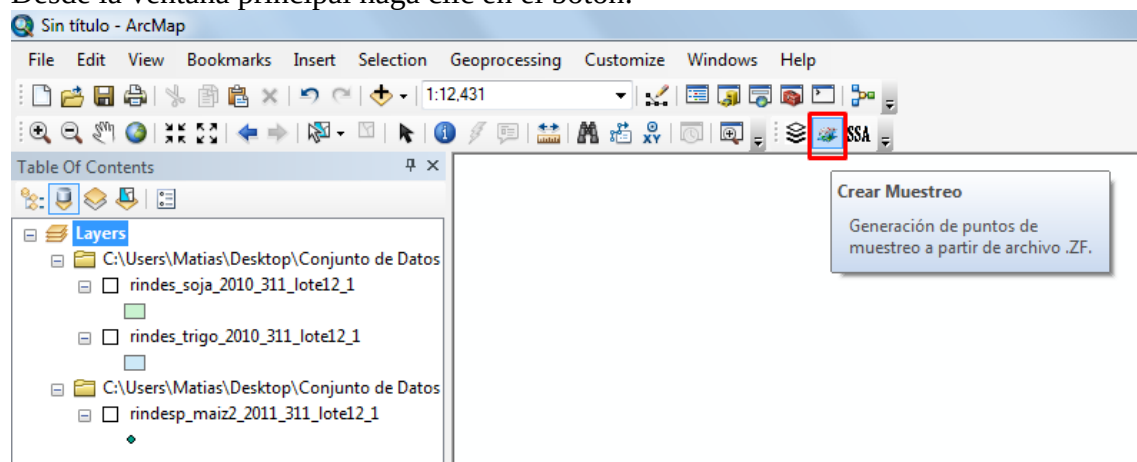
5. Diseño de muestreo

Descripción

Esta funcionalidad permite generar una capa que representa un diseño de muestreo, a partir de un archivo de zonificación (.ZF). La capa generada, luego será utilizada en la funcionalidad *Optimización de Muestreo*.

El usuario selecciona el archivo de zonificación (.ZF) de un campo y luego deberá elegir las variables a tener en cuenta para calcular la variabilidad, el tipo de red (por cantidad de celdas o por tamaño de celdas) y además la ruta y el nombre para la capa de muestreo resultante.

Desde la ventana principal haga clic en el botón:



Controles

The screenshot shows a Windows-style dialog box titled 'Puntos de muestreo'. It contains several input fields and controls, each highlighted with a red rectangular box and a corresponding letter in a red box:

- A** Archivo de zonificación: A text input field with a folder icon to its right.
- B** Variables: A large, empty text area.
- C** Tipo de red: A dropdown menu currently showing 'Cantidad de celdas' and a checkbox labeled 'Sin generalización'.
- D** Filas and Columnas: Two text input fields, one for 'Filas' and one for 'Columnas', each with a green dot to its left.
- E** Capa de muestreo: A text input field with a folder icon to its right.
- F** Mostrar ayuda >>: A button located at the bottom right of the dialog.

At the bottom of the dialog, there are three buttons: 'Aceptar', 'Cancelar', and 'Mostrar ayuda >>'.

A – Archivo de zonificación

Se debe indicar la ruta donde se encuentra el archivo de zonificación (archivo .ZF) con el cual se realizará el estudio.

B – Variables

En esta sección se listan las variables que aparecen en el archivo de zonificación. Se deben seleccionar cuales se desean considerar para realizar el estudio.

C – Tipo de red

Define la forma de agrupar los puntos obtenidos en el archivo de zonificación de forma realizar una generalización de los puntos. Dicha generalización se puede hacer especificando el tamaño de celdas o la cantidad de celdas. También existe la posibilidad de no realizar la generalización, en este caso se debe marcar la opción Sin generalización.

La generalización de puntos se realiza promediando los valores de las variables en los puntos que están contenidos en cada celda. En caso de que la generalización se

realice con más de una variable los valores de las variables en los puntos se normalizan (con esto se evita que la incidencia de cada variable en el estudio esté relacionada directamente con la escala de sus valores).

D – Filas/Columnas o Alto/Ancho

Dependiendo de la selección en la sección C, en esta sección se especifican los valores para la creación de cada zona.

En caso de que el tipo de red se defina por cantidad de celdas, en esta sección se deben especificar la cantidad de filas y la cantidad de columnas en la que se dividirá el campo.

En caso de que el tipo de red se defina por tamaño de celdas, se deben especificar el alto y ancho de cada celda en metros.

E – Capa de muestreo

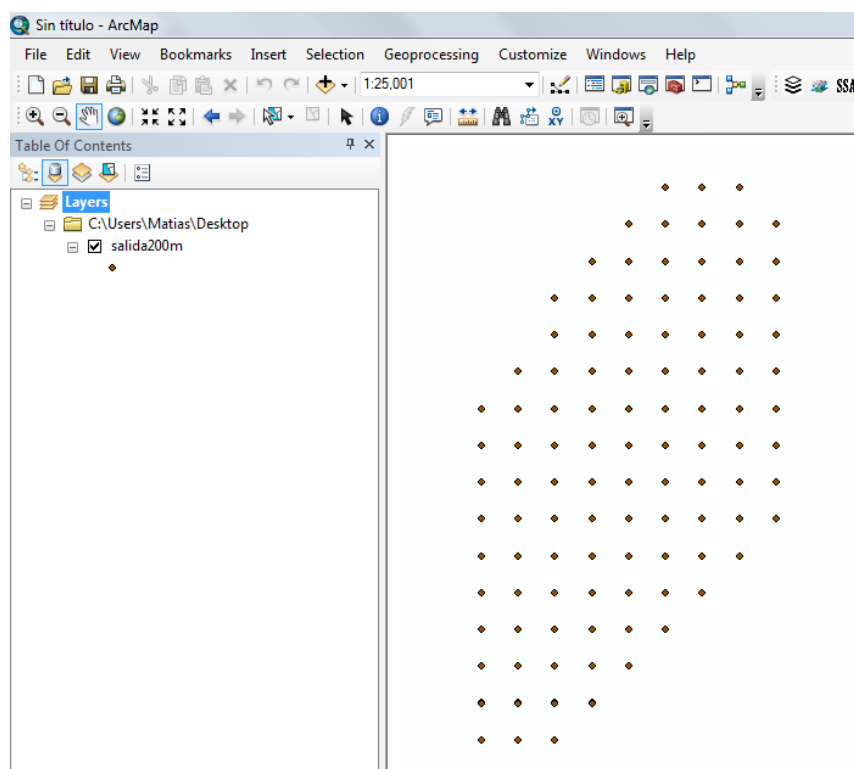
Ruta donde se guardarán los archivos generados en la salida luego de la ejecución.

F – Mostrar ayuda

Se despliega una ventana con ayuda al contexto. El contenido de la ayuda se corresponde a la sección donde está situado el cursor.

Resultados

Se muestra a continuación el resultado de la ejecución:



La tabla de datos de la capa resultado tiene los siguientes campos:

- FID: es el identificador del punto de zonificación
- Shape: es la geometría de la capa, en este caso “Point”
- Id: Valor auxiliar que no tiene ningún significado
- Valor: Es el valor promediado de las variables en estudio para el punto de zonificación.

	FID	Shape	Id	Valor
▶	0	Point	0	7606703.05128
	1	Point	0	8025555.57143
	2	Point	0	7776694.53933
	3	Point	0	7021613.67725
	4	Point	0	7415706.22676
	5	Point	0	7731392.00457
	6	Point	0	2763429.40782
	7	Point	0	7415500.72487
	8	Point	0	7880025.73016
	9	Point	0	4579452.81859
	10	Point	0	1106790.97921
	11	Point	0	1250335.95205
	12	Point	0	6901070.97884
	13	Point	0	7788463.21088
	14	Point	0	2251694.07256

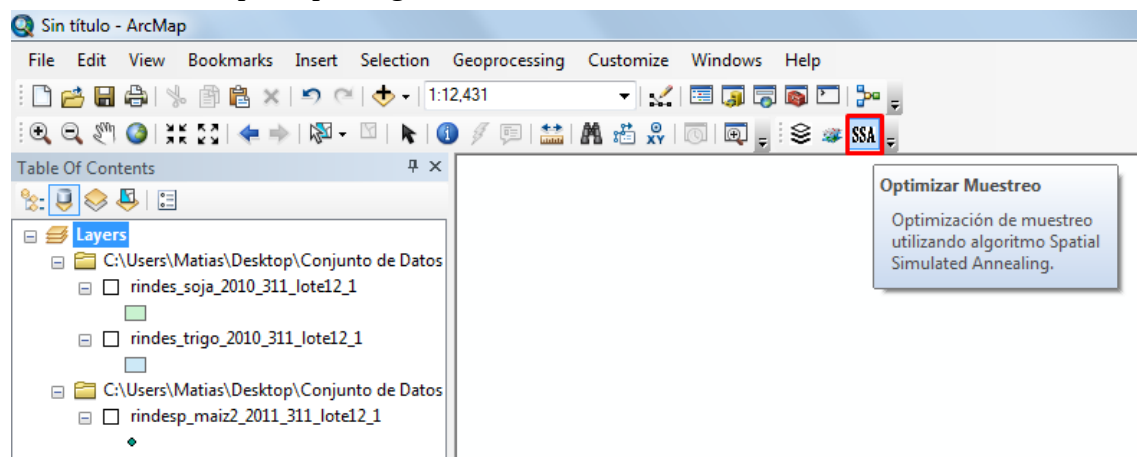
6. Optimización de muestreo

Descripción

A partir de una capa que contiene los posibles puntos de muestreo (salida de la funcionalidad *Diseño de Muestreo*), se aplica un algoritmo de optimización que retorna el diseño de muestreo óptimo como una capa de ArcGIS indicando cantidad y localización en el campo de los puntos de muestreo. El sistema no devuelve un único diseño de muestreo óptimo, sino que mientras que sea posible, irá reduciendo el número de muestras y volverá a aplicar el algoritmo de optimización para el nuevo número de muestras. Este proceso se repetirá hasta que no se pueda reducir el error de aproximación hasta un nivel dado por el usuario. Como salida se obtienen las diferentes capas con los distintos diseños de muestreos óptimos junto con un archivo de texto que contiene el resumen de la ejecución.

El usuario selecciona una capa con los posibles puntos de muestreo, método de estimación (IDW), indica el número de muestras (se puede ingresar directamente, o calcularse a partir del parámetro opcional “rango”, que indica la distancia máxima a la cual los puntos mantienen correlación espacial según semivariograma), porcentaje de error de estimación aceptado, opcionalmente puede modificar los parámetros del algoritmo de optimización, además debe ingresar ruta y nombre para la capa resultante.

Desde la ventana principal haga clic en el botón:



Controles

SSA Optimización de muestreo

A Capa de muestreo

B Método de estimación Exponente IDW

IDW 2

C Carpeta destino

D Rango (m)

E Nro de muestras

F % Error (MAPE)

Aceptar Cancelar **G** Parámetros **H** Mostrar ayuda >>

A – Capa de muestreo

En este combo se muestran todas las capas abiertas en ArcMap que tienen un atributo numérico de nombre *Valor*. La capa seleccionada será a la que se le aplicará la optimización.

B – Método de estimación

Este es el método utilizado para realizar la estimación de los puntos no muestreados. En esta versión sólo está disponible el método IDW, el parámetro *Exponente IDW* determina la influencia de los puntos según distancia, al momento de realizar la interpolación. A mayor valor (rango entre 1 y 100) del *Exponente IDW* los puntos lejanos tendrán menor influencia.

C – Carpeta destino

Ruta donde se guardarán los archivos generados en la salida luego de la ejecución.

D – Rango

Parámetro opcional que calcula de forma automática el número de muestras iniciales en base al área del campo utilizando la formula:

$$\#muestras = \frac{Area * 4}{rango^2}$$

E – Número de muestras

En este parámetro se especifica la cantidad de muestras inicial con la que comenzará el algoritmo de optimización. Esta cantidad puede ser determinada de forma automática mediante el área del campo y el rango de alcance o bien de forma manual por el usuario.

F – % Error (MAPE)

En este parámetro se indica el porcentaje de error máximo admitido en la estimación de los puntos no muestreados. Cuando el algoritmo itera en busca de una solución y el error en la estimación de la capa no supera este valor, se guarda la solución encontrada, se disminuye en una unidad el número de muestras y se ejecuta nuevamente el algoritmo en busca de una nueva solución.

G – Parámetros SSA

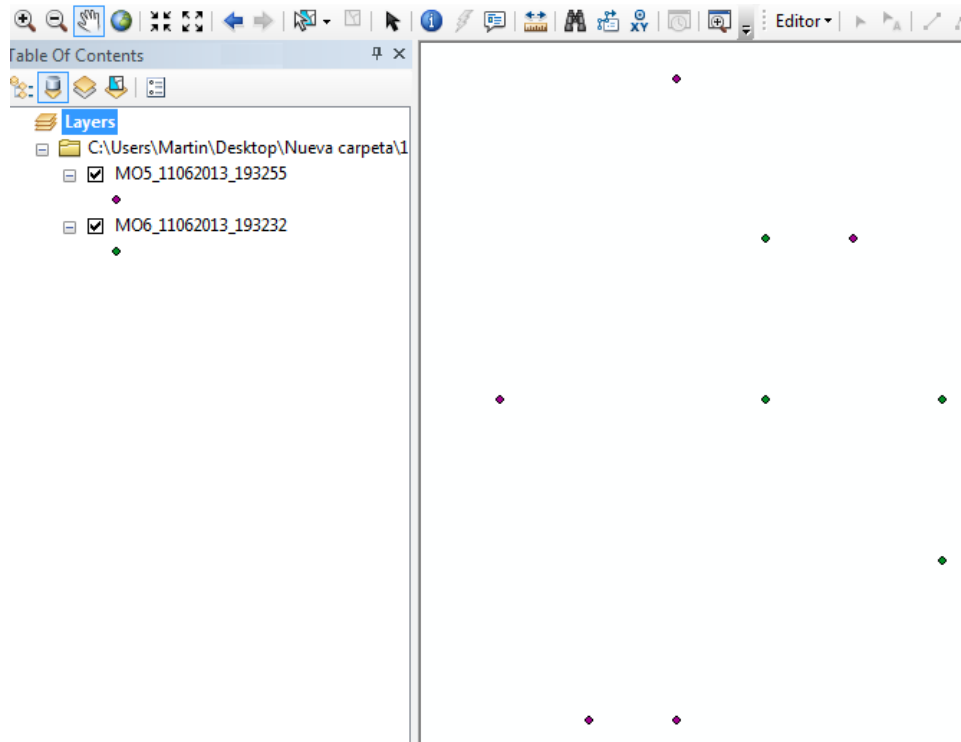
Existe la posibilidad de modificar por parte del usuario los parámetros del algoritmo de optimización, Spatial Simulated Annealing.

H – Mostrar ayuda

Se despliega una ventana con ayuda al contexto. El contenido de la ayuda se corresponde a la sección donde está situado el cursor.

Resultados

Se muestra a continuación el resultado de la ejecución:



La tabla de datos de las capas resultado tienen los siguientes campos:

- FID: es el identificador del punto de muestreo
- Shape*: es la geometría de la capa, en este caso “Point”
- Valor: Es el valor promediado de las variables en estudio para el punto de zonificación, que fue calculado previamente en el módulo Diseño de Muestreo.

Table			
MO5_11062013_193255			
	FID	Shape *	Valor
▶	0	Punto	0,875553
	1	Punto	1,182045
	2	Punto	1,098061
	3	Punto	0,705802
	4	Punto	0,715012

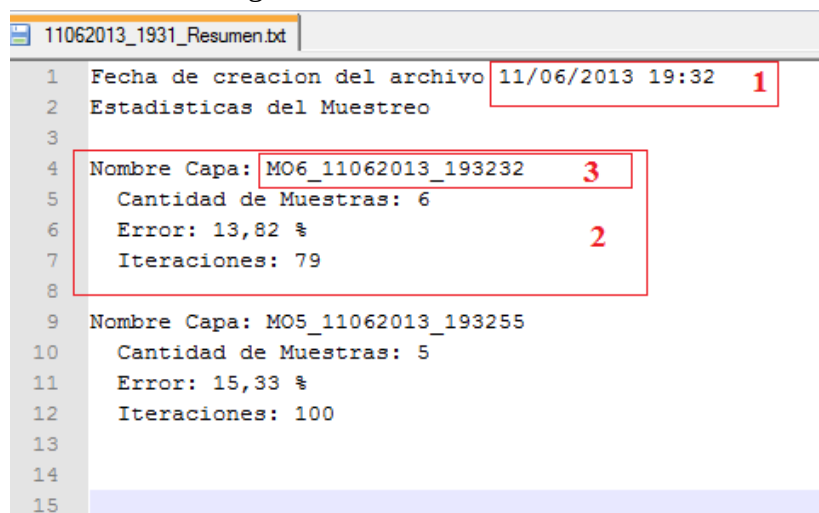
Luego de la ejecución, el sistema genera dentro la de ruta especificada como destino un directorio con las todas las capas generadas y un archivo de texto que contiene un resumen de la ejecución.

Capas generadas

El directorio generado es llamado ddMMaaaa_hhmm_Capas, donde 'ddMMaaaa_hhmm' hace referencia a la fecha y hora de ejecución. Dentro de este directorio son guardadas las capas generadas en la ejecución.

Archivo de texto

El archivo generado es llamado ddMMaaaa_hhmm_Resumen.txt, donde 'ddMMaaaa_hhmm' hace referencia a la fecha y hora de ejecución. La estructura del archivo es la siguiente:



```
11062013_1931_Resumen.txt
1 Fecha de creacion del archivo 11/06/2013 19:32 1
2 Estadisticas del Muestreo
3
4 Nombre Capa: MO6_11062013_193232 3
5 Cantidad de Muestras: 6
6 Error: 13,82 % 2
7 Iteraciones: 79
8
9 Nombre Capa: MO5_11062013_193255
10 Cantidad de Muestras: 5
11 Error: 15,33 %
12 Iteraciones: 100
13
14
15
```

- 1 – Fecha y hora en que finalizó la ejecución
- 2 – Para cada capa obtenida como resultado se genera este bloque que contiene el nombre del shapefile, cantidad de muestras, porcentaje de error en la estimación de los puntos no muestreados y cantidad de iteraciones efectuadas.
- 3 – Nombre de la capa generada. Comienza siempre con MO seguido de la cantidad de puntos de muestreo que contiene.

REQUERIMIENTOS

Especificación de Requerimientos

Versión 2.1

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
11/08/2012	1.0	Creación del documento	Martin Varela, Nicolás Oliveri, Gonzalo Parente
29/11/2012	1.1	Modificación de requerimiento de adecuación al entorno	Nicolás Oliveri
9/12/2012	2.0	Actualización del documento	Martin Varela, Gonzalo Parente
10/12/2012	2.1	Revisión del documento	Nicolás Oliveri

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	64
1.1. PROPÓSITO	64
1.2. ALCANCE	64
1.3. VISIÓN GENERAL	64
2. DESCRIPCIÓN GENERAL	64
2.1. PERSPECTIVA DEL PRODUCTO.....	64
2.1.1. <i>Interfaces de usuario</i>	64
2.1.2. <i>Interfaces con hardware</i>	64
2.1.3. <i>Interfaces con software</i>	64
2.1.4. <i>Interfaces de comunicación</i>	64
2.1.5. <i>Restricciones de memoria</i>	64
2.1.6. <i>Requerimientos de adecuación al entorno</i>	65
2.2. FUNCIONES DEL PRODUCTO.....	65
2.2.1. <i>Diseño optimo de muestreo</i>	65
2.2.2. <i>Caracterización de variabilidad temporal</i>	65
2.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS USUARIOS	65
2.4. RESTRICCIONES DE DISEÑO	65
2.4.1. <i>Lenguaje de programación</i>	65
2.4.2. <i>Herramientas de desarrollo</i>	65
2.4.3. <i>Manejo de datos</i>	65
2.5. SUPUESTOS Y DEPENDENCIAS	65
3. REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS	66
3.1. REQUERIMIENTOS SUPLEMENTARIOS	67
3.1.1. <i>Eficiencia</i>	67
3.1.2. <i>Funcionalidad</i>	67
3.1.3. <i>Usabilidad</i>	67
3.1.4. <i>Confiabilidad</i>	68
3.1.5. <i>Mantenible</i>	68
3.1.6. <i>Portabilidad</i>	68
4. REQUERIMIENTOS DE DOCUMENTACIÓN.....	68
4.1. MANUAL DE USUARIO.....	68
4.2. GUÍAS DE INSTALACIÓN, CONFIGURACIÓN Y ARCHIVO LÉAME.	68

1. Introducción

Este documento pretende ser un acercamiento a la descripción del problema planteado como proyecto de grado.

1.1. Propósito

Pretende describir los requerimientos relevados luego de las reuniones con el cliente.

1.2. Alcance

El proyecto consta del desarrollo de una herramienta de optimización de muestreo, que caracterice la variabilidad temporal y espacial de la productividad de diferentes cultivos agrícolas, determinando el número y localización óptimos para el muestreo de nutrientes. La herramienta debe integrarse al sistema de información geográfica ArcGIS.

1.3. Visión general

Este documento pretende mostrar un enfoque general de la solución y exponer los requisitos.

2. Descripción general

2.1. Perspectiva del producto

Se espera tener un complemento del sistema de información geográfica ArcGIS Desktop para la optimización de muestreo de nutrientes.

2.1.1. Interfaces de usuario

La interfaz de usuario debe ser una barra de herramientas conservando el estilo estándar de ArcGIS. La misma contendrá las funcionalidades del producto.

2.1.2. Interfaces con hardware

No aplica.

2.1.3. Interfaces con software

El sistema deberá interactuar con planillas electrónicas en formato .xls (Microsoft Excel) en el caso de que algunos de los datos históricos estén en este formato.

El sistema deberá interactuar con archivos de zonificación (.ZF), generados por un complemento de ArcGIS provisto por el cliente. El sistema debe ser capaz de interpretar este tipo de archivos para utilizarlo como entrada de datos.

2.1.4. Interfaces de comunicación

No aplica.

2.1.5. Restricciones de memoria

No hay.

2.1.6. Requerimientos de adecuación al entorno

La herramienta debe ser compatible con la versión ArcGIS 10.0. Como datos de entrada se cuenta con capas raster y vectoriales que gracias a las funcionalidades de ArcGIS son fácilmente intercambiables entre un formato y el otro. A su vez, los datos de los índices de vegetación que provienen de MODIS son archivos Excel, pero que previamente a ser utilizados se llevan a un formato raster.

2.2. Funciones del producto

2.2.1. Diseño óptimo de muestreo

La herramienta deberá presentar un diseño de muestreo óptimo de nutrientes (fósforo, potasio, nitrógeno) para un campo en base a las capas de entrada disponibles (tipos de suelo, modelo de elevación y sus derivados, mapas de rendimiento o imágenes satelitales de más de un momento en el tiempo) y el tamaño mínimo de cada área de manejo definido por el usuario.

2.2.2. Caracterización de variabilidad temporal

La herramienta deberá permitir la creación de una capa que caracterice la variabilidad temporal de un campo a partir de un histórico de datos. Los datos de entrada para esta funcionalidad pueden ser mapas de rendimientos históricos normalizados en formato compatible con ArcGIS 10.0 ó en su defecto planillas de conductividad eléctrica en formato Microsoft Excel (que también puede llevarse a un archivo vectorial previo uso).

2.3. Características de los usuarios

En general el uso de la herramienta será por parte de usuarios con experiencia en el manejo de SIG.

2.4. Restricciones de diseño

2.4.1. Lenguaje de programación

Utilizaremos la plataforma Microsoft .NET y el desarrollo la aplicación será en lenguaje C#.

2.4.2. Herramientas de desarrollo

Se utilizará Microsoft Visual Studio 2010 como entorno de desarrollo dado que ESRI provee un kit de desarrollo (SDK) de add-ins para ArcGIS 10.0.

2.4.3. Manejo de datos

Los datos de entrada y salida deben ser compatibles con ArcGIS 10.0.

2.5. Supuestos y dependencias

El cliente cuenta con la funcionalidad que realiza un clúster con los datos de entrada y genera una zonificación del campo. Esta zonificación será la entrada para la funcionalidad de optimización de muestreo.

3. Requerimientos específicos

Modulo 1: Caracterización de la variabilidad temporal

Nombre	Descripción
Caracterización a partir de mapas continuos	Se genera una capa que representa la caracterización de la variabilidad temporal a partir de mapas históricos continuos en el espacio (Ej. Mapas de rendimiento).
Caracterización a partir de planillas electrónicas.	Se genera una capa que representa la caracterización de la variabilidad temporal a partir de un conjunto de datos históricos con formato de planillas electrónicas MS Excel.

Modulo 2: Diseño de muestreo

Nombre	Descripción
Diseño de muestreo	El sistema recibe como entrada la zonificación del campo en estudio (resultado de la clusterización), el o los nutrientes que se pretender muestrear y la precisión con la cual se desea trabajar. Se deberá permitir elegir los siguientes parámetros para realizar el diseño del muestreo: • Archivo de zonificación a utilizar • Variables a tener en cuenta para calcular la variabilidad. • Tipo de red: - o Cantidad de celdas ✓ Filas ✓ Columnas - o Tamaño de celdas: ✓ Alto ✓ Ancho • Nombre de capa de muestreo resultado

Modulo 3: Optimización de muestreo

Nombre	Descripción
Optimización de muestreo	El sistema recibe como entrada una capa que contiene los posibles puntos de muestreo (salida del modulo diseño de muestreo), y luego de aplicar un algoritmo de optimización retorna el diseño de muestreo óptimo como una capa de ArcGIS indicando cantidad y localización en el campo de los puntos de muestreo. El sistema no devuelve un único diseño de muestreo óptimo, sino que mientras que sea posible, se irá reduciendo el número de muestras y se volverá a aplicar el algoritmo de optimización para el nuevo número de muestras. Este proceso se repetirá hasta que no se pueda reducir el error de aproximación hasta un nivel dado por el usuario. Como salida se obtienen las diferentes capas con los distintos diseños de muestreos óptimos junto con un archivo de texto que contiene el resumen de la ejecución.

3.1. Requerimientos Suplementarios

3.1.1. Eficiencia

3.1.1.1. Performance

No corresponde.

3.1.2. Funcionalidad

3.1.2.1. Seguridad

No corresponde.

3.1.2.2. Estabilidad

No corresponde.

3.1.3. Usabilidad

3.1.3.1. Entendible

Se deberá contar con ayudas de contexto, para mejorar la usabilidad del sistema.

3.1.3.2. Compatibilidad de Usabilidad

No corresponde.

3.1.4. Confiabilidad

3.1.4.1. Tolerancia a Fallas

Se deberán manejar las excepciones, para aumentar la robustez del mismo. En caso de fallas, el programa deberá informar al usuario la causa.

3.1.5. Mantenible

3.1.5.1. Mantenimiento del código

El código deberá estar correctamente comentado, de forma tal de facilitar su extensibilidad y mantenimiento a lo largo del tiempo.

3.1.6. Portabilidad

3.1.6.1. Adaptabilidad

No corresponde.

3.1.6.2. Instalable

El producto deberá ser instalable en la versión de ArcGIS 10.0.

3.1.6.3. Compatibilidad en Portabilidad

No corresponde.

4. Requerimientos de documentación

4.1. Manual de Usuario

Se proveerá de un manual de usuario de manera de ayudar y guiar a los usuarios del producto.

4.2. Guías de instalación, configuración y archivo Léame.

Se proveerá de una guía de instalación del producto que contendrá los pasos necesarios para incorporar el producto en la versión de ArcGIS 10.0.

Alcance del Sistema

Versión 2.1

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
17/11/2012	1.0	Creación del documento	Martin Varela, Nicolás Oliveri, Gonzalo Parente
08/12/2012	2.0	Modificación del documento	Martin Varela, Nicolás Oliveri, Gonzalo Parente

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	71
1.1. PROPÓSITO	71
1.2. ALCANCE	71
1.3. REFERENCIAS	71
1.4. VISIÓN GENERAL	71
2. PLANIFICACIÓN PARA LOGRAR EL ALCANCE	71
2.1. FASE ELABORACIÓN.....	71
2.2. FASE CONSTRUCCIÓN.....	71

1. Introducción

1.1. Propósito

Este documento describe el alcance del sistema en términos de las funcionalidades que se implementarán a lo largo de todo el ciclo del proyecto

Partimos de la base de los requerimientos relevados con el cliente.

1.2. Alcance

El alcance del sistema indica que funcionalidades va a incluir el producto final.

1.3. Referencias

Documento de especificación de requerimientos:

- Especificación de Requerimientos_v2.1.doc

1.4. Visión general

A continuación vamos a desarrollar qué actividades vamos a realizar a lo largo del proyecto.

2. Planificación para lograr el Alcance

Se incluyeron dentro del alcance todos los requerimientos detallados en el

Documento de Especificación de Requerimientos. A continuación se describen restricciones y/o modificaciones aplicadas:

- 2.1.3 Interfaces con software
El sistema no soportará la entrada de datos en formato de planilla electrónica (.xls).
- 2.1.6 Requerimientos de adecuación al entorno
El sistema no soportará la entrada de datos en formato de planilla electrónica (.xls). Las únicas entradas válidas en el sistema serán capas compatibles con ArcGIS 10.0.
- 2.2.2 Caracterización de variabilidad temporal
El sistema no soportará la entrada de datos en formato de planilla electrónica (.xls). Las únicas entradas válidas en el sistema serán capas compatibles con ArcGIS 10.0, además todas las capas deberán tener el mismo sistema de coordenadas.
El sistema no normalizará los datos de entrada.

2.1. Fase Elaboración

- Diseño de la arquitectura.
- Construcción de prototipo para la funcionalidad 2.2.1, permitiéndonos mitigar riesgos.

2.2. Fase Construcción

- Implementación de la funcionalidad 2.2.1 Diseño optimo de muestreo.
- Implementación de la funcionalidad 2.2.2 Caracterización de variabilidad temporal.

Glosario

Versión 2.0

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
20/05/2012	1.0	Creación del documento	Martin Varela
05/06/2012	2.0	Actualización del documento	Gonzalo Parente

Contenido

1. C#.....	74
2. .NET	74
3. VISUAL STUDIO	74
4. SIG (SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA)	74
5. ESRI (ENVIROMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE).....	74
6. ARCGIS	74
7. API (APPLICATION PROGRAMMING INTERFACE)	74
8. ADD-IN DE ARCGIS DESKTOP	74
9. SSA (SPATIAL SIMULATED ANNEALING).....	74
10. IDW (INVERSE DISTANCE WEIGHTING).....	75
11. CAPA	75
12. SHAPEFILE.....	75
13. POINT.....	75
14. POLYGON	75
15. POLYLINE.....	75
16. ARCHIVO .ZF	75
17. ESTUDIO DE BLACKMORE	75
18. CV (COEFICIENTE DE VARIACIÓN)	75
19. MAPE (MEAN ABSOLUTE PERCENTAGE ERROR)	76

2. C#

Lenguaje de programación orientado a objetos, diseñado por Microsoft como parte de su plataforma .NET.

3. .NET

Plataforma de desarrollo de software de Microsoft.

4. Visual Studio

Es un entorno de desarrollo integrado para sistemas Windows, usado para el desarrollo de aplicaciones en distintos lenguajes de programación.

5. SIG (Sistema de Información Geográfica)

Es un sistema de información que permite almacenar, editar, almacenar, compartir y mostrar información geográficamente referenciada.

6. ESRI (Environmental Systems Research Institute)

Es la empresa líder a nivel mundial en el desarrollo y comercialización de software para Sistemas de Información Geográfica.

7. ArcGIS

Productos de software en el campo de SIG, producidos por ESRI. Entre ellos se encuentran ArcGIS Desktop (aplicación de escritorio), ArcGIS Server (publicación y gestión web) y ArcGIS Mobile (captura y gestión de información en campo)

8. API (Application Programming Interface)

Es el conjunto de funciones y procedimientos que ofrece cierta biblioteca para ser utilizado por otro software como una capa de abstracción.

9. Add-in de ArcGIS Desktop

Un add-in es una personalización, como un conjunto de herramientas de una tabla de herramientas que se integra en una aplicación de ArcGIS Desktop con el fin de proporcionar funciones complementarias para la realización de tareas personalizadas.

10. SSA (Spatial Simulated Annealing)

SSA (Van Groenigen - 1999) es un algoritmo de búsqueda meta-heurística para problemas de optimización espacial, que se utiliza para optimizar un diseño de muestreo. Se implementa comenzando con un diseño de muestreo inicial, y en cada iteración se realiza una alteración del diseño sustituyendo aleatoriamente uno de los puntos de muestreo. Si el nuevo diseño mejora la suma ponderada de error de predicción espacial medio, se acepta. En cambio, si el nuevo diseño empeora el criterio, se acepta con una cierta probabilidad, que se va reduciendo a medida que avanzan las iteraciones.

11. IDW (Inverse Distance Weighting)

Método de interpolación mediante distancia inversa ponderada. Determina los valores de un campo a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestras. La ponderación es una función de la distancia inversa.

12. Capa

Es la representación visual de un conjunto de datos geográficos en un mapa.

Conceptualmente, una capa es un estrato de la realidad geográfica en un área particular. Distintos tipos de datos (por ejemplo: ríos, carreteras, ciudades) se representan en capas diferentes.

13. Shapefile

Es un formato vectorial de almacenamiento digital donde se guarda la localización de los elementos geográficos y los atributos asociados a ellos, desarrollada por ESRI. Actualmente se ha convertido en formato estándar para el intercambio de información geográfica.

14. Point

Un punto consta de un par de coordenadas en orden X,Y.

15. Polygon

Un polígono se compone de uno o más anillos. Un anillo es una secuencia conectada de cuatro o más puntos que forman un bucle no auto-interceptado cerrado. Un polígono puede contener múltiples anillos exteriores. El orden de los vértices o la orientación de un anillo indican de qué lado del anillo es el interior del polígono.

16. Polyline

Una línea poligonal es un conjunto ordenado de vértices que consta de una o más partes. Una parte es una secuencia conectada de dos o más puntos. Las partes pueden o no pueden estar conectados el uno al otro. Las partes pueden o no pueden cruzarse entre sí.

17. Archivo .ZF

Este tipo de archivo es requerido por el sistema como dato de entrada del Módulo 2. Estos archivos contienen información de distintas variables de un campo en un formato dado.

18. Estudio de Blackmore

Es un método desarrollado por Larscheid y Blackmore para normalizar diferentes años de rendimiento de suelos de manera de poder compararlos y realizar un estudio de las tendencias temporales.

19. CV (Coeficiente de Variación)

El coeficiente de variación es la relación entre la desviación estándar de una muestra y su media. El coeficiente de variación permite comparar las dispersiones de dos distribuciones distintas, siempre que sus medias sean positivas.

20. MAPE (Mean Absolute Percentage Error)

El Error Absoluto Medio del Porcentaje de Error es una medida para determinar la precisión de un método dado.

Modelo de Dominio

Versión 1.1

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
15/08/2012	1.0	Creación del documento	Martin Varela, Nicolás Oliveri, Gonzalo Parente
16/08/2012	1.1	Revisión del documento.	Nicolás Oliveri.

Contenido

1. MODELO DE DOMINIO	79
2. RESTRICCIONES:	79

1. Modelo de Dominio

Se presenta el Modelo de Dominio realizado en forma gráfica, en el cual se incluyen las entidades identificadas con sus atributos, las relaciones entre éstas con su cardinalidad, especializaciones y generalizaciones, agregaciones, etc.



ModeloDominio.pdf

2. Restricciones:

- Un PuntoZonificación tiene datos de una variable únicamente si esa variable pertenece al conjunto de variables de la zonificación a la cual pertenece el PuntoZonificación.

Modelo de Casos de Usos

Versión 2.1

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
20/11/2012	1.0	Creación del documento	Martin Varela
21/11/2012	1.1	Revisión del documento	Nicolás Oliveri
30/03/2013	2.0	Actualización del documento	Martin Varela
31/03/2013	2.1	Revisión del documento	Nicolás Oliveri

Contenido

1. CASOS DE USO	82
1.1. MODULO 1: CARACTERIZACIÓN DE LA VARIABILIDAD TEMPORAL	82
1.1.1. <i>Blackmore</i>	82
1.2. MODULO 2: DISEÑO DE MUESTREO	83
1.2.1. <i>Diseño de muestro</i>	83
1.3. MODULO 3: OPTIMIZAR MUESTREO.....	84
1.3.1. <i>Optimizar muestreo</i>	84

1. Casos de Uso

1.1. Modulo 1: Caracterización de la variabilidad temporal

1.1.1.Blackmore

Nombre:	Blackmore
Objetivo: Se genera una capa que representa la caracterización de la variabilidad temporal a partir de capas históricas continuas en el espacio (Ej. Capas de rendimiento).	
Actores: Usuario.	
Precondiciones: Existen al menos dos capas históricas continuas en el espacio cargadas en la herramienta ArcMap de ArcGIS 10.0.	
Descripción: El actor elige las capas históricas continuas en el espacio a utilizar, realizando una selección sobre las capas cargadas en ArcMap. Luego para cada una de las capas seleccionadas, deberá elegir la variable con la cual se realizara la caracterización de la variabilidad temporal. Finalmente el actor selecciona la capa base que definirá la extensión de la capa de salida, el nivel de estabilidad que determina si una zona es variable, el tipo de red (por cantidad de celdas o por tamaño de celdas) y además la ruta y el nombre para la capa resultante.	
Flujo Normal: - El actor elige el modulo Caracterización de la variabilidad temporal. - El sistema despliega la ventana del modulo, la misma contendrá las capas cargadas en ArcMap junto a las variables de cada una de ellas. - El actor selecciona: ➤ Capas (al menos dos) ➤ Variable a utilizar en cada mapa ➤ Capa base ➤ Nivel de estabilidad ➤ Ingresa ruta donde se creara la capa resultante ➤ Tipo de red ➤ La ruta donde se creara la capa resultante y el nombre para la misma - El actor confirma selección realizando clic en botón “Aceptar” - El sistema cierra la ventana de trabajo. - Fin CU	
Flujos Alternativos: 5A. Faltan parámetros de entrada 5A1. El sistema informa que falta ingresar alguno de los campos. 5A2. Ir al punto 03 del Flujo Normal 5B. Formato de parámetro de entrada incorrecto	

5B1. El sistema informa que el formato del parámetro de entrada es incorrecto.
5B2. Ir al punto 03 del Flujo Normal
G1 El actor cancela la operación. Fin CU
Post condiciones: El sistema crea una capa en formato shapefile con la caracterización temporal según parámetros seleccionados en paso 3, la cual queda visible en ArcMap y guardada en la ruta especificada por el actor.

1.2. Modulo 2: Diseño de muestreo

1.2.1. Diseño de muestro

Nombre:	Diseño de muestreo
Objetivo:	Generar diseño de muestreo
Actores:	Usuario
Precondiciones:	Existe un archivo de zonificación disponible.
Descripción:	El actor selecciona el archivo de zonificación de un campo y luego deberá elegir las variables a tener en cuenta para calcular la variabilidad, el tipo de red (por cantidad de celdas o por tamaño de celdas) y además la ruta y el nombre para la capa de muestreo resultante.
Flujo Normal:	- El actor elige el modulo Diseño de muestreo. - El sistema despliega la ventana del modulo. - El actor selecciona el archivo de zonificación. - El sistema despliega las posibles variables a tener en cuenta para calcular la variabilidad. - El actor selecciona: ➤ Variables a tener en cuenta para calcular la variabilidad ➤ Tipo de red ➤ Ruta donde se creara la capa resultante ➤ Nombre para capa resultante. - El actor confirma selección realizando clic en botón “Aceptar”. - El sistema finaliza la ejecución y cierra la ventana de trabajo. Fin CU

Flujos Alternativos:

4A. El archivo de zonificación no tiene el formato adecuado.

4A1. El sistema informa que el archivo de zonificación no tiene el formato adecuado.

4A2. Ir al punto 03 del Flujo Normal.

7A. Faltan parámetros de entrada.

7A1. El sistema informa que falta ingresar alguno de los campos.

7A2. Ir al punto 05 del Flujo Normal.

7B. Formato de parámetro de entrada incorrecto

7B1. El sistema informa que el formato del parámetro de entrada es incorrecto.

7B2. Ir al punto 05 del Flujo Normal

G1 El actor cancela la operación.

Fin CU

Post condiciones:

El sistema crea una capa en formato shapefile con los posibles puntos de muestreo, la cual queda visible en ArcMap y guardada en la ruta especificada por el actor.

1.3. Modulo 3: Optimizar muestreo

1.3.1. Optimizar muestreo

Nombre:	Optimizar muestreo
Objetivo:	Retornar una serie de diseños de muestreo óptimos en formatos de capas de ArcGIS, indicando cantidad de puntos utilizados y localización en el campo de cada punto, para cada una de las capas de salidas.
Actores:	Usuario
Precondiciones:	Existe un shapefile de tipo POINT con los posibles puntos de muestreo que tiene una columna de datos con nombre “Valor” que representa la variabilidad en el punto.
Descripción:	El actor selecciona una capa con los posibles puntos de muestreo, método de estimación (IDW), indica el número de muestras (se puede ingresar directamente, o calcularse a partir del parámetro opcional “rango”, que indica la distancia máxima a la cual los puntos mantienen correlación espacial según semivariograma), porcentaje de error de estimación aceptado, opcionalmente puede modificar los parámetros del algoritmo de optimización, además debe ingresar ruta y nombre para la capa resultante.

Flujo Normal:

1. El actor elige el modulo Optimización de muestreo.
2. El sistema despliega la ventana del modulo.
3. El actor selecciona:
 - Capa de muestreo
 - Método de estimación
 - Cantidad de muestras
 - Porcentaje de error de estimación aceptado
 - Ruta donde se creara la capa resultante
 - Nombre para capa resultante
4. El actor confirma selección realizando clic en botón “Aceptar”
5. El sistema finaliza la ejecución y cierra la ventana de trabajo.
6. Fin CU

Flujos Alternativos:

4A. Modificación de parámetros del algoritmo de optimización

4A1. El actor modifica los parámetros del algoritmo.

4A2. Ir al punto 04 del Flujo Normal

5A. Faltan parámetros de entrada

5A1. El sistema informa que falta ingresar alguno de los campos.

5A2. Ir al punto 03 del Flujo Normal

5B. Formato de parámetro de entrada incorrecto

5B1. El sistema informa que el formato del parámetro de entrada es incorrecto.

5B2. Ir al punto 03 del Flujo Normal

G1 El actor cancela la operación.

Fin CU

Post condiciones:

Se crea en el directorio pasado como parámetro el archivo de texto que contiene el resumen de la ejecución (“ddMMaaaa_hhmm_Resumen.txt”) y un directorio (“ddMMaaaa_hhmm_Capas”) conteniendo los shapefiles con las configuraciones de muestreo óptimo según la cantidad de muestras, las cuales quedan visibles en ArcMap.

Pautas para la Interfaz de Usuario

Versión 1.0

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
11/08/2012	1.0	Creación del documento	Martin Varela, Nicolás Oliveri, Gonzalo Parente

Contenido

1. OBJETIVO	88
2. TIPO DE APLICACIÓN.	88
3. TIPO DE USUARIOS.....	88
4. INTERFAZ DE USUARIO SEGÚN REQUERIMIENTOS.....	88

1. Objetivo

El documento pretende establecer a nivel general las interfaces de usuarios en función de los requerimientos relevados hasta ahora y dar un pantallazo general del aspecto visual de la interfaz gráfica.

2. Tipo de aplicación.

Se trata de una herramienta que debe integrarse al sistema de información geográfica ArcGIS, el cual es una aplicación de escritorio.

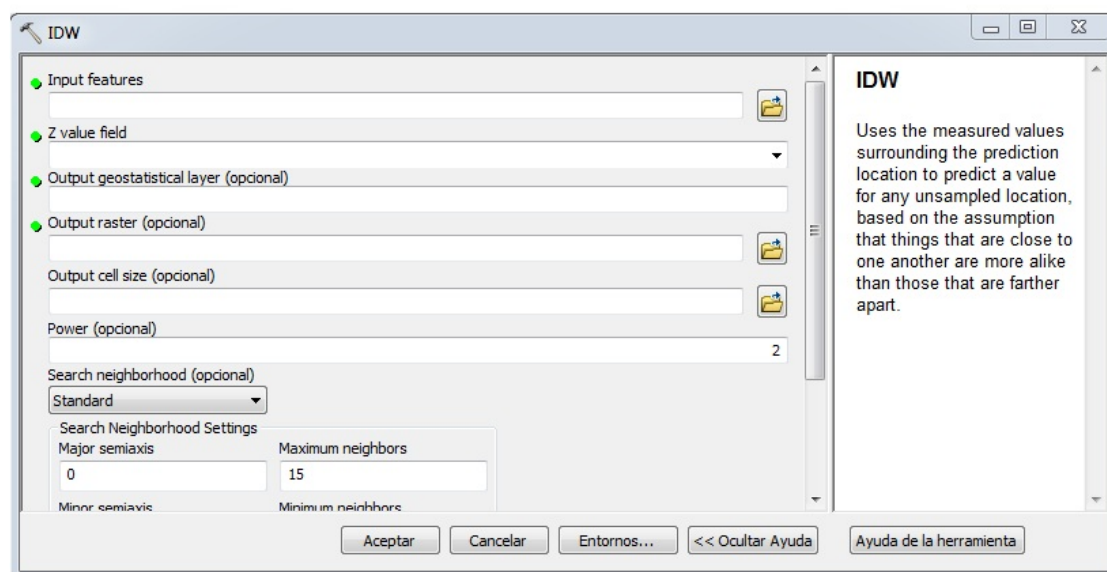
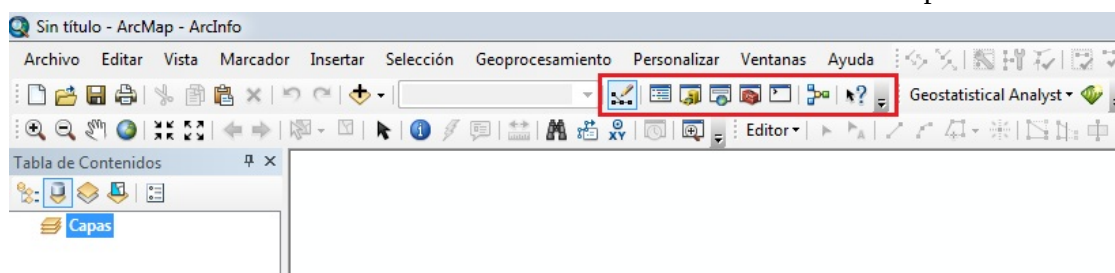
La herramienta debe ser compatible con la versión ArcGIS 10.0. Como datos de entrada se cuenta con capas raster y vectoriales que gracias a las funcionalidades de ArcGIS son fácilmente intercambiables entre un formato y el otro. A su vez, los datos de los índices de vegetación que provienen de MODIS son archivos Excel, pero que previamente a ser utilizados se llevan a un formato raster.

3. Tipo de usuarios.

El uso de la herramienta será por parte de usuarios con experiencia en el manejo de SIG, en general de la herramienta ArcGIS.

4. Interfaz de Usuario según requerimientos

La interfaz de usuario debe ser una barra de herramientas conservando el estilo estándar de ArcGIS. La misma contendrá las funcionalidades del producto.



Documento de Validación con el Cliente

Versión 1.0

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
27/04/2013	1.0	Creación del documento	Martin Varela, Nicolás Oliveri, Gonzalo Parente

Contenido

1. PRODUCTOS DE LA VALIDACIÓN	91
1.1. MODULO 1 – CARACTERIZACIÓN DE LA VARIABILIDAD TEMPORAL.....	91
1.2. MODULO 2 – DISEÑO DE MUESTREO.....	91
1.3. MODULO 3 – OPTIMIZACIÓN DE MUESTREO	91
2. CONCLUSIONES DE LA VALIDACIÓN	91
2.1. MODULO - CARACTERIZACIÓN DE LA VARIABILIDAD TEMPORAL	91
2.2. MODULO - DISEÑO DE MUESTREO	91
2.3. MODULO - OPTIMIZAR MUESTREO.....	92
3. MÉTRICAS DE LA VALIDACIÓN.....	93

1. Productos de la Validación

1.1. Modulo 1 – Caracterización de la variabilidad temporal

- Se presento la interfaz del modulo.

1.2. Modulo 2 – Diseño de muestreo

- Se presento la interfaz del modulo.
- Se ejecuto el caso de uso descripto para este modulo en el documento Modelo de casos de uso_v1.0.
- Se mostro salida obtenida en casos de uso ya ejecutados.
- Se explico forma de calcular la variabilidad de un punto.
- Se explico la decisión de diseño al agrupan los puntos.

1.3. Modulo 3 – Optimización de muestreo

- Se presento la interfaz del modulo.
- Se ejecuto el caso de uso descripto para este modulo en el documento Modelo de casos de uso_v1.0.
- Se mostro salida obtenida en casos de uso ya ejecutados.
- Se explico algoritmo SSA y método de estimación IDW utilizado.
- Se explico forma de estimación del error

2. Conclusiones de la Validación

2.1. Modulo - Caracterización de la variabilidad temporal

- Se presentó la interfaz de usuario y como va a ser el funcionamiento del módulo una vez que sea implementado. El cliente aprobó la interfaz de usuario y también el futuro funcionamiento del modulo.

2.2. Modulo - Diseño de muestreo

- Se ejecutó un caso de uso según descripción en documento *Modelo de casos de uso_v1.0*, el cliente aprobó la interfaz de usuario y el funcionamiento del modulo.
- Se mostro la salida obtenida en casos de uso ya ejecutados y el cliente quedo conforme con el formato de las mismas.
- Se mostro la formula de del cálculo de variabilidad utilizada:

$$\frac{ValorPunto_j - MediaVariable_j}{MediaVariable_j}$$

El cliente nos sugirió cambiar la formula por una que utilice la desviación estándar, por tal motivo se cambiara la actual por la siguiente fórmula:

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (ValorPunto_j - MediaVariable_j)^2}{n}}$$

La formula antes mencionada si cuenta con el aval del cliente

2.3. Modulo - Optimizar muestreo

- Se ejecutó un caso de uso según descripción en documento *Modelo de casos de uso_v1.0*, el cliente aprobó la interfaz de usuario y el funcionamiento del modulo.
- Se explicaron las distintas configuraciones posibles de los parámetros requeridos para ejecutar, el cliente mostro su conformidad con el poder de parametrización del producto .
- Se validó la utilización del método IDW como método de interpolación, sustituyendo al método kriging. A partir de lo antes mencionado el cliente solicitó que el parámetro “Grado” del IDW que por defecto estaba seteado con valor 2, pueda ser configurable desde la interfaz, ya que ArcMap permite optimizar este valor. Se acepto la solicitud y la misma estará disponible en la próxima versión de la interfaz del modulo.
- El cliente solicitó que se utilizara el *Root Mean Square Error* para estimar el error de la solución, que se calcula de la siguiente forma:

$$RMSErrors = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$$

donde $\hat{y}_i - y_i$ es el dato estimado menos el dato medido u observado.

- Validamos la forma de calcular el número inicial de muestras a tener en cuenta por el algoritmo SSA, para la misma utilizamos una fórmula definida por nosotros que depende del rango (en metros) de los datos.
El cliente quiere analizar un poco más la fórmula empleada antes de dar su validación final, por lo cual enviaremos vía email la fórmula planteada, junto con un breve resumen de nuestro razonamiento para la deducción de la misma.

3. Métricas de la validación

- El objetivo era validar la implementación actual del producto (módulos diseño de muestreo y modulo optimizar muestreo), en particular el diseño de la interfaz y el funcionamiento del mismo. Todo lo anterior fue validado, o comentado tal como se detalla en el punto anterior, quedando el cliente muy conforme con nuestro trabajo.

DISEÑO

Modelo de Diseño

Versión 2.1

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
15/12/2012	1.0	Creación del documento	Gonzalo Parente
16/12/2012	1.1	Revisión del documento.	Nicolás Oliveri.
30/01/2013	2.0	Actualización del documento	Gonzalo Parente
31/01/2013	2.1	Revisión del documento	Nicolás Oliveri.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	96
1.1. PROPÓSITO	96
1.2. ALCANCE	96
1.3. DEFINICIONES, SIGLAS Y ABREVIATURAS.	96
2. DISEÑO DE CASOS DE USO.....	97
2.1. CARACTERIZACIÓN DE LA VARIABILIDAD TEMPORAL.....	97
2.1.1. <i>Diagrama de secuencia del sistema</i>	97
2.1.1. <i>Diagrama de Comunicación</i>	98
2.2. DISEÑO DE MUESTREO.....	99
2.2.1. <i>Diagrama de secuencia del sistema</i>	99
2.2.1. <i>Diagramas de Comunicación</i>	100
2.3. OPTIMIZAR MUESTREO	103
2.3.1. <i>Diagrama de secuencia del sistema</i>	103
2.3.2. <i>Diagrama de Comunicación</i>	104
3. DISEÑO DE OBJETOS	104
3.1. SISTEMA.....	104
3.2. MÓDULO 1	106
3.3. MÓDULO 2	107
3.4. MÓDULO 3	109
4. REVISIÓN DE LA INTERFAZ DE USUARIO	110
4.1. FORMATOS INDIVIDUALES DE INTERFAZ DE PANTALLA	110
4.2. FORMA DE NAVEGACIÓN DE INTERFAZ DE PANTALLA.....	111

1. Introducción

Este documento proporciona una visión general del Modelo de Diseño del sistema a desarrollar, así como descripciones del diseño de casos de uso y de clases.

1.1. Propósito

Especificar formalmente el diseño de los componentes del sistema a construir. Será el punto de partida de la implementación y será tomado como guía para el desarrollo.

1.2. Alcance

Este documento tiene influencia en el documento de descripción de la arquitectura, en el mismo se abarca el diseño de las funcionalidades que son brindadas por el producto.

1.3. Definiciones, siglas y abreviaturas.

Ver Glosario del proyecto.

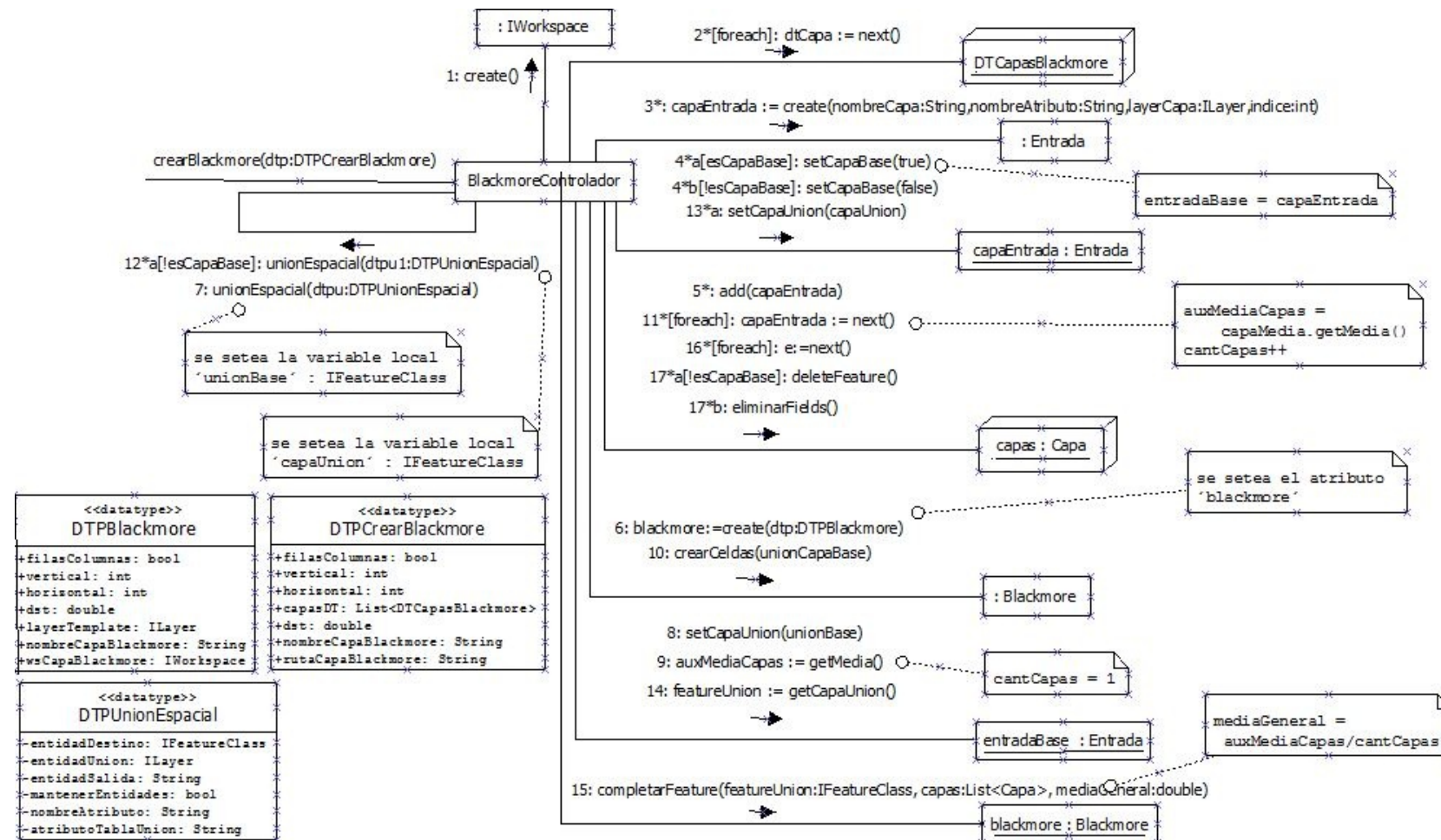
2. Diseño de Casos de Uso

2.1. Caracterización de la variabilidad temporal

2.1.1. Diagrama de secuencia del sistema

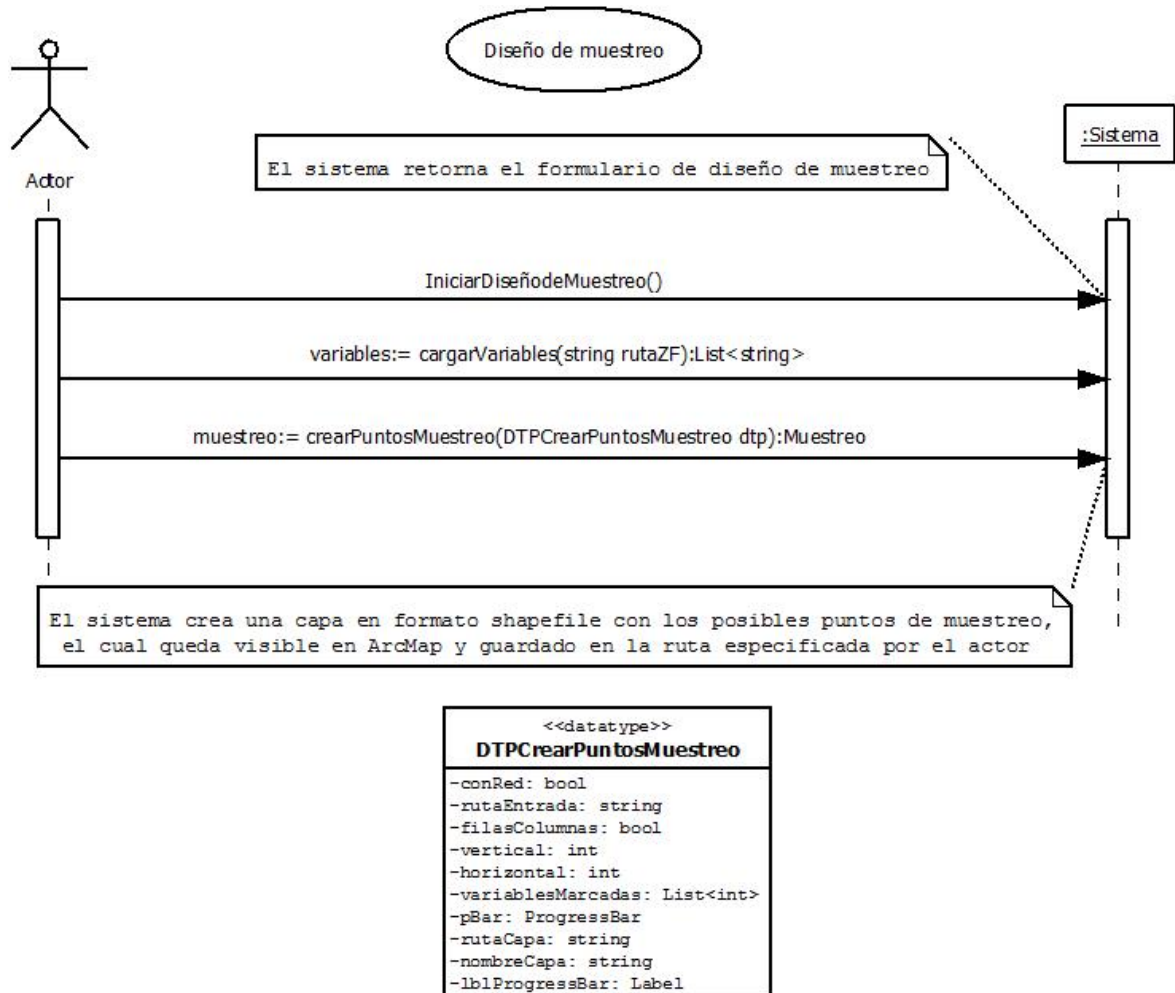


20.1.1. Diagrama de Comunicación

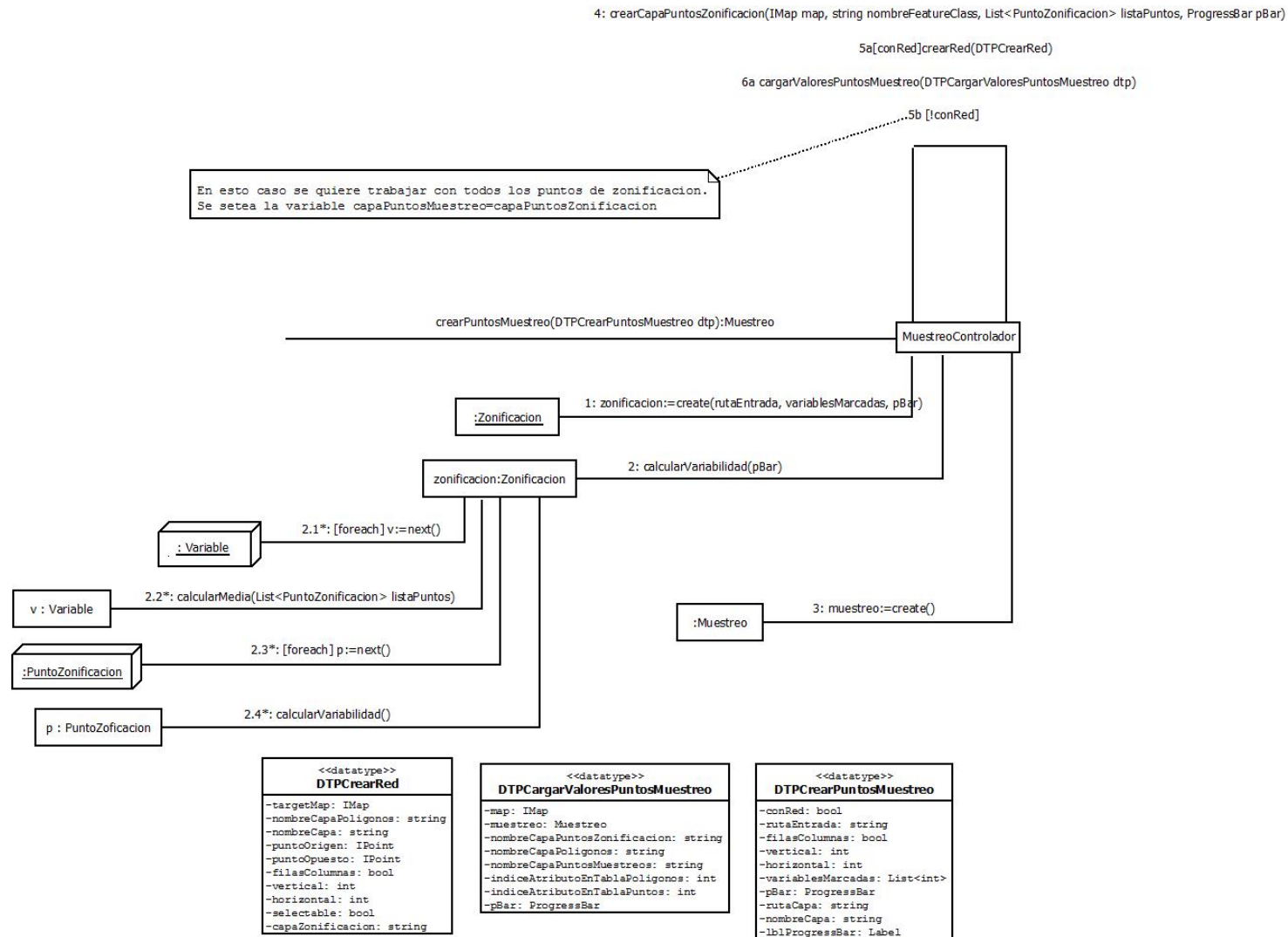


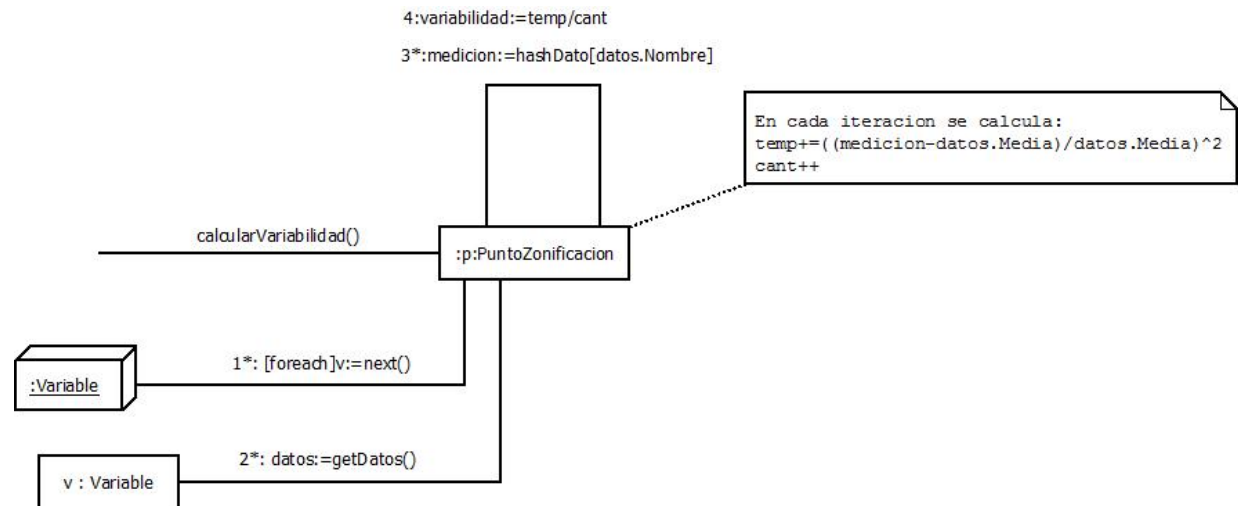
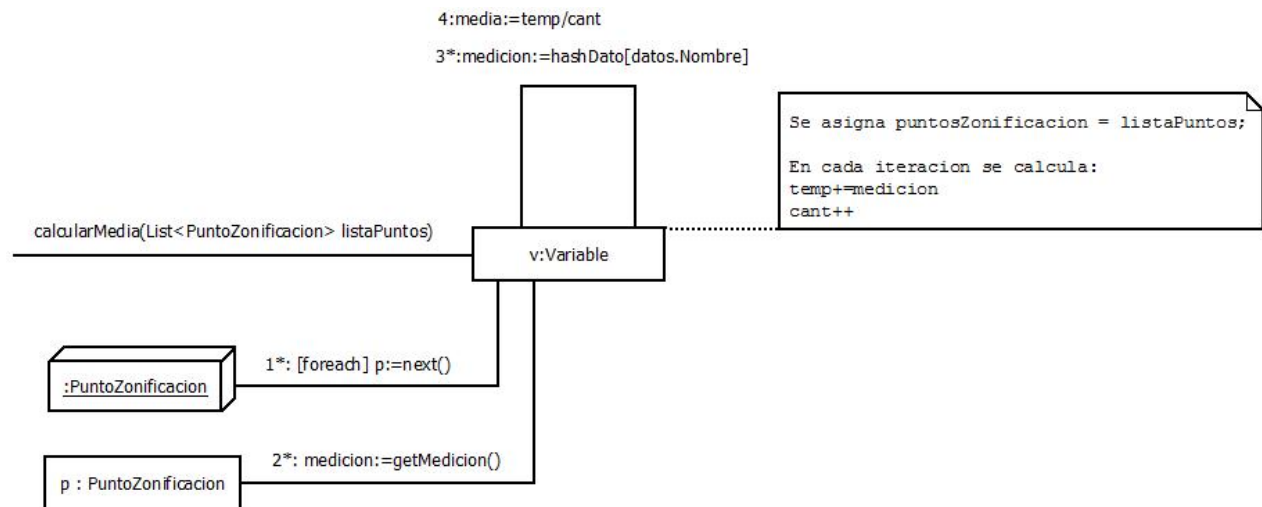
2.2. Diseño de muestreo

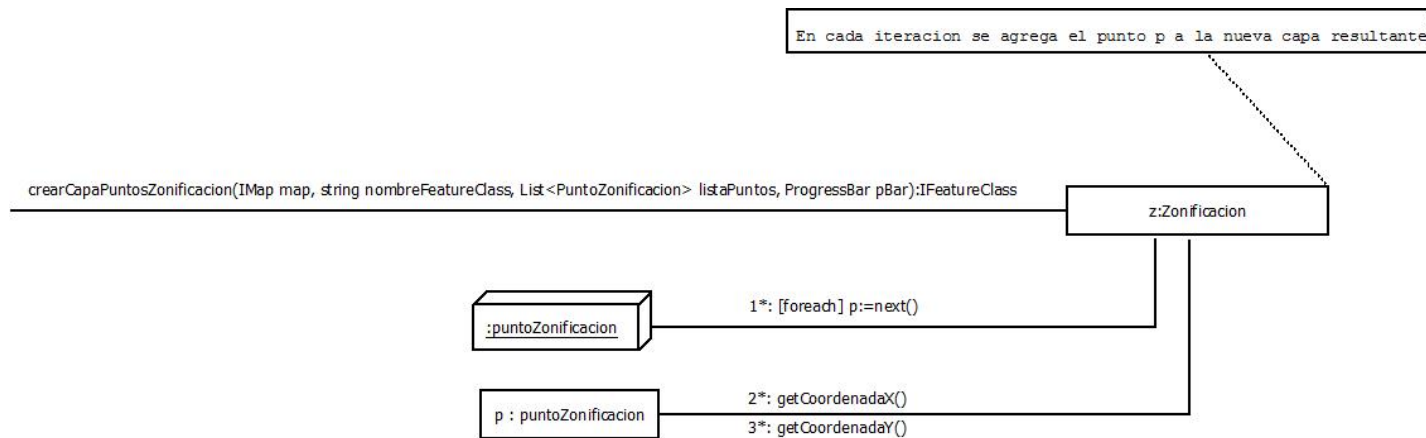
2.2.1. Diagrama de secuencia del sistema



20.1.2. Diagramas de Comunicación

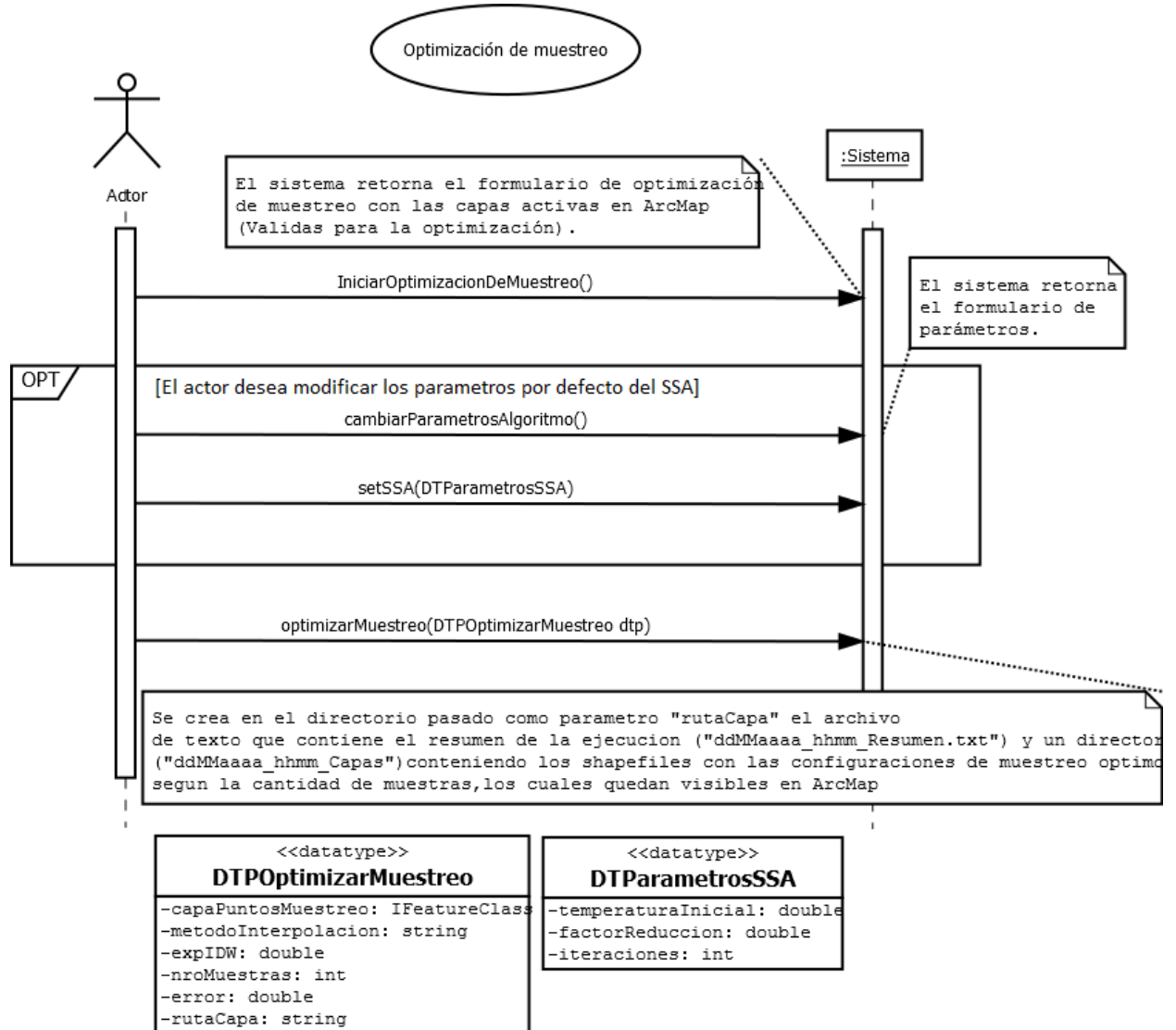




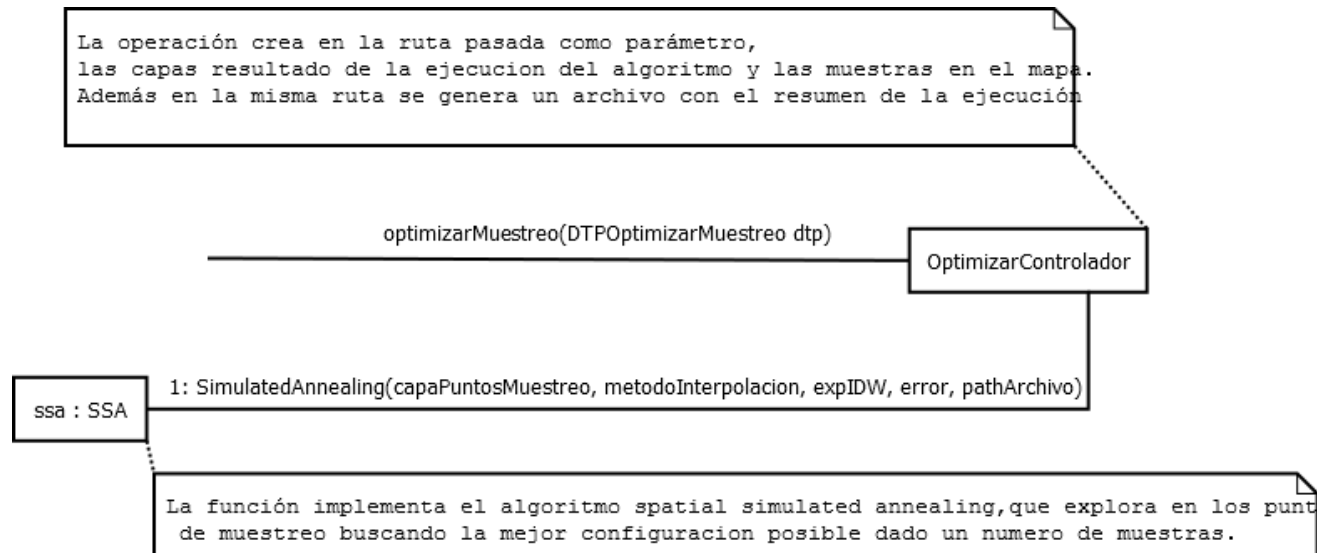


2.3. Optimizar muestreo

2.3.1. Diagrama de secuencia del sistema

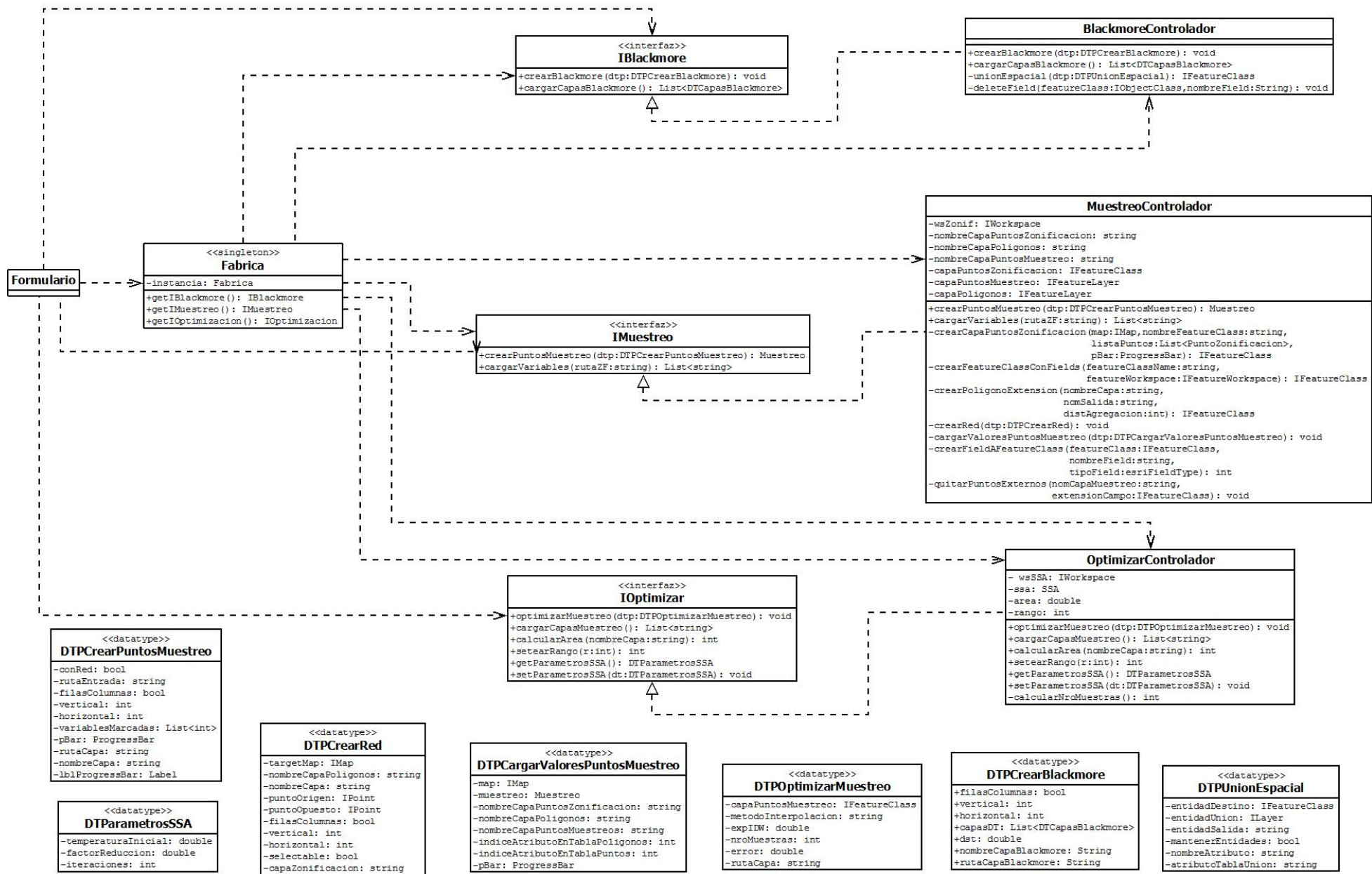


2.3.2. Diagrama de Comunicación

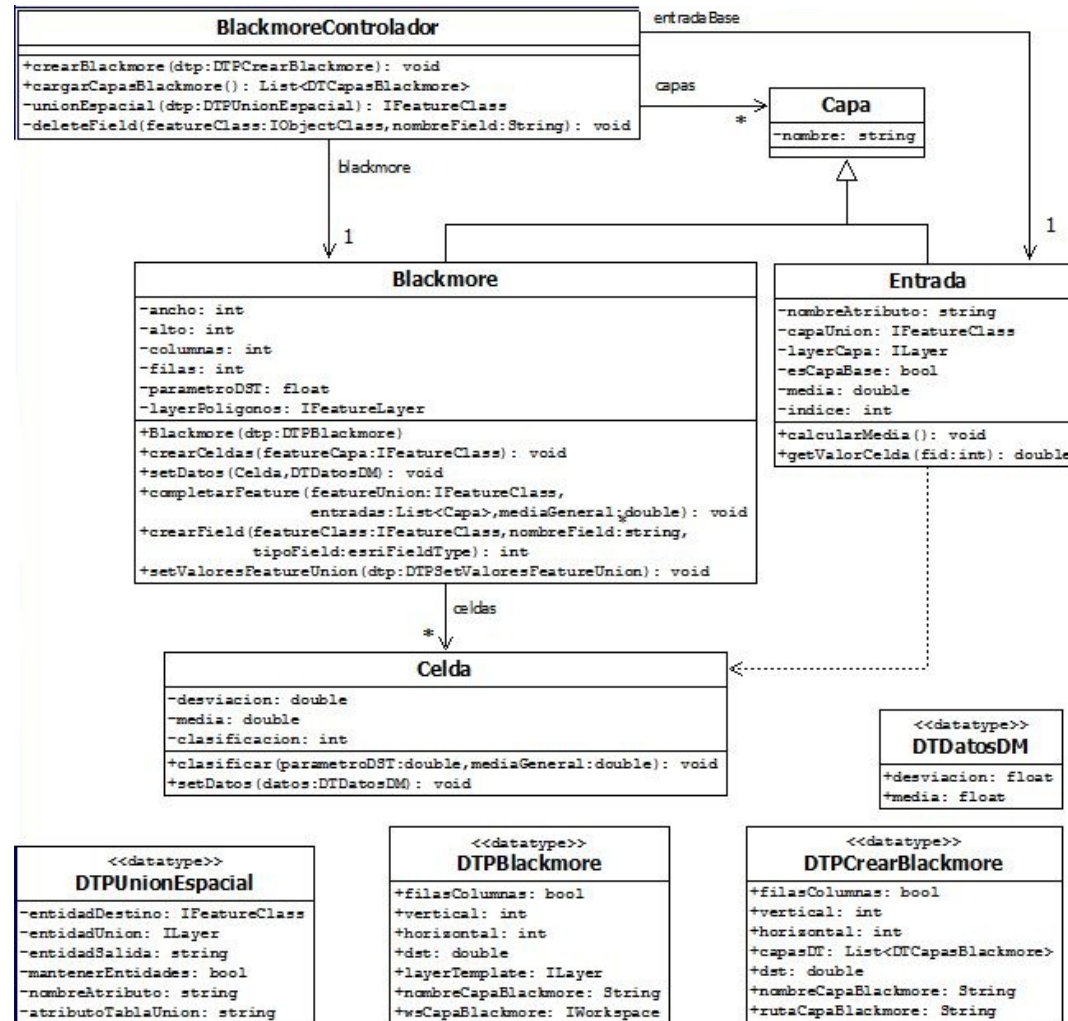


3. Diseño de Objetos

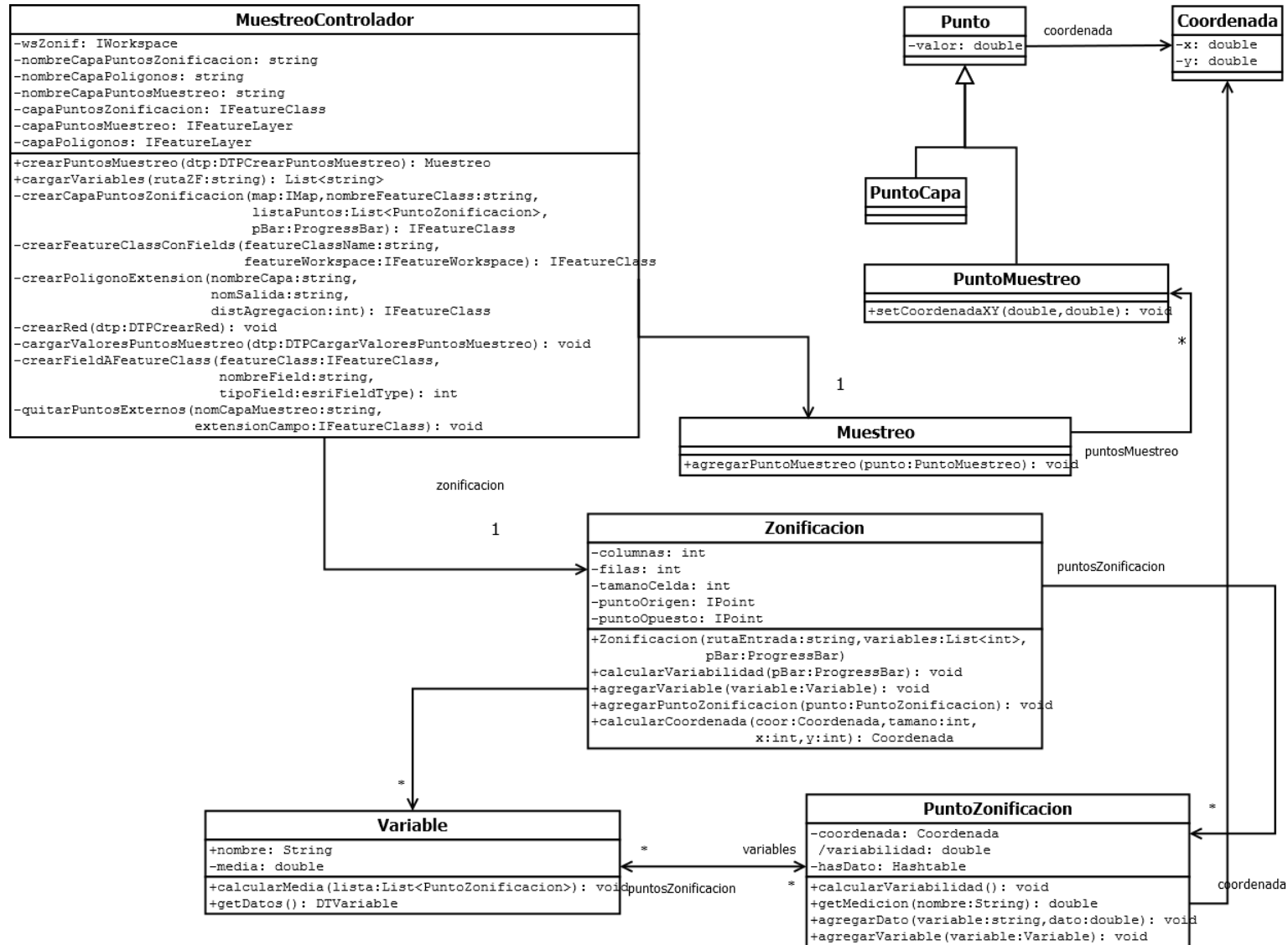
3.1. Sistema



3.2. Módulo 1



3.3. Módulo 2



<<datatype>> DTPCrearRed
-targetMap: IMap -nombreCapaPoligonos: string -nombreCapa: string -puntoOrigen: IPoint -puntoOpuesto: IPoint -filasColumnas: bool -vertical: int -horizontal: int -selectable: bool -capaZonificacion: string

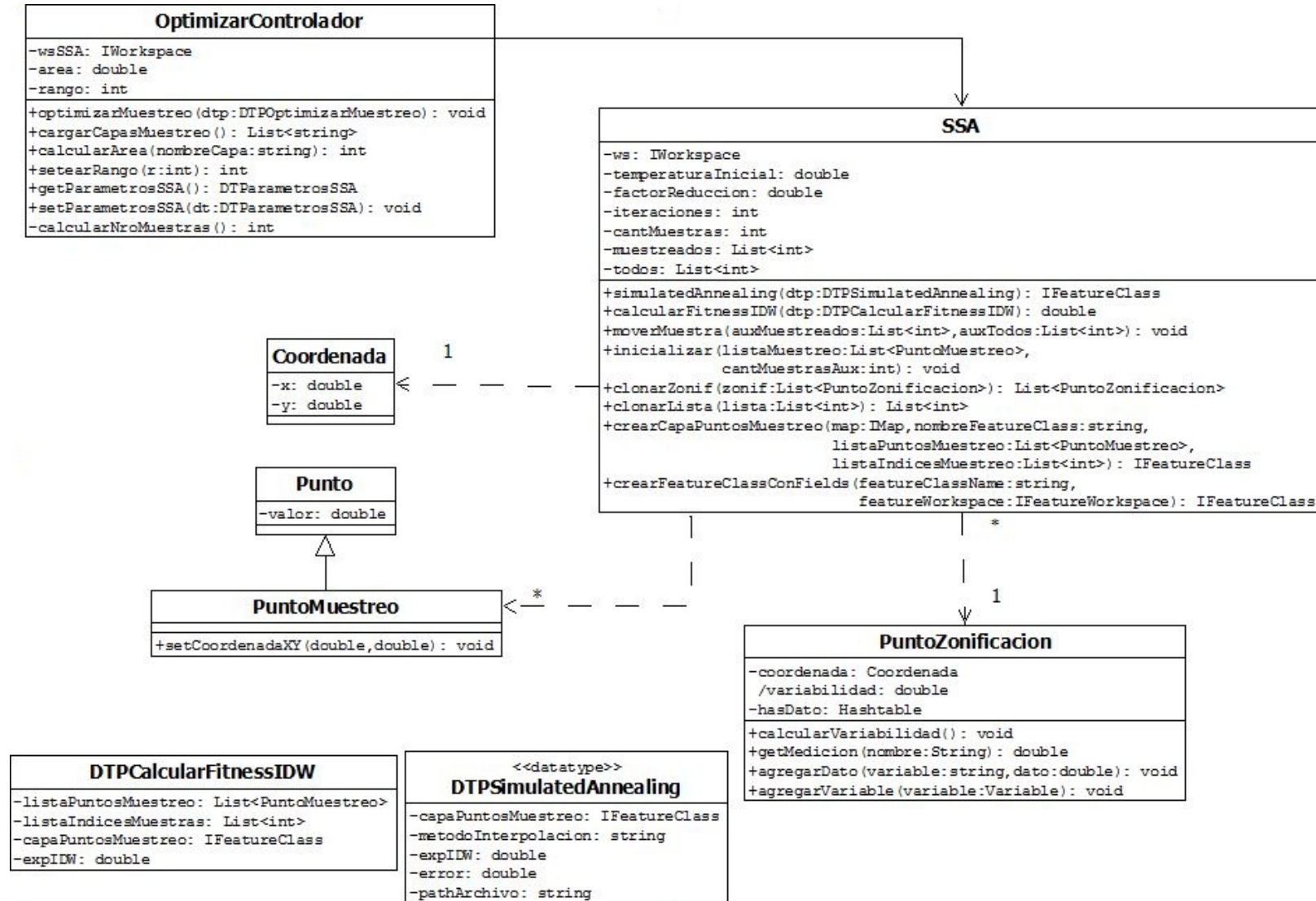
<<datatype>> DTPCrearPuntosMuestreo
-conRed: bool -rutaEntrada: string -filasColumnas: bool -vertical: int -horizontal: int -variablesMarcadas: List<int> -pBar: ProgressBar -rutaCapa: string -nombreCapa: string -lblProgressBar: Label

<<datatype>> DTPCargarValoresPuntosMuestreo
-map: IMap -muestreo: Muestreo -nombreCapaPuntosZonificacion: string -nombreCapaPoligonos: string -nombreCapaPuntosMuestreos: string -indiceAtributoEnTablaPoligonos: int -indiceAtributoEnTablaPuntos: int -pBar: ProgressBar

<<datatype>> DTDatosDM
+desviacion: double +media: double

<<datatype>> DTVariable
+nombre: String +media: double

3.4. Módulo 3



4. Revisión de la Interfaz de Usuario

4.1. Formatos individuales de interfaz de pantalla

A continuación se presentan los formatos de las pantallas de cada modulo.

Pantalla de modulo *Caracterización de la variabilidad temporal*:

The screenshot shows a dialog box titled "Blackmore - Variabilidad temporal". It contains a table with the following data:

Usar	Capas	Atributo
☒	Analisis_Caracterizacion	Name

Below the table, there are several input fields and buttons:

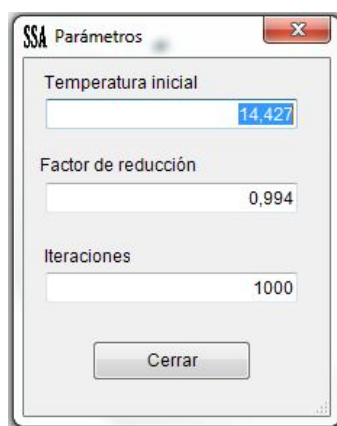
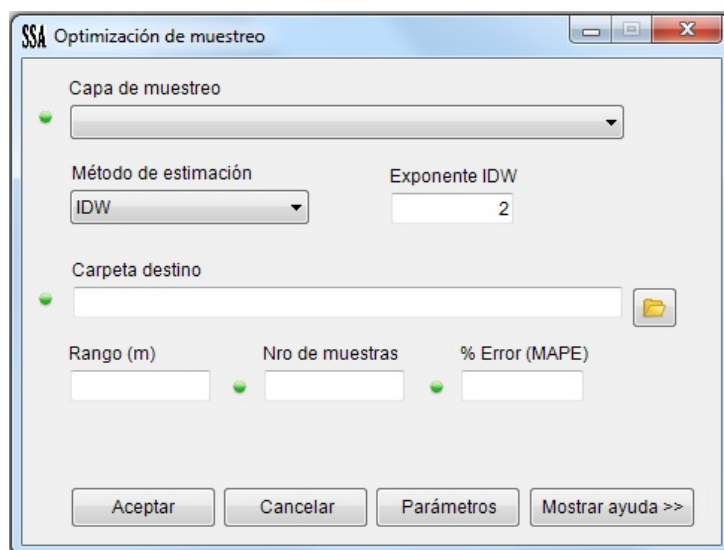
- Capa base:** A dropdown menu.
- Nivel de estabilidad:** A text input field with the value "1".
- Tipo de red:** A dropdown menu with the value "Cantidad de celdas".
- Filas:** A text input field.
- Columnas:** A text input field.
- Ruta destino de capa:** A text input field with a folder icon button next to it.
- Buttons:** "Aceptar", "Cancelar", and "Mostrar ayuda >>" at the bottom.

Pantalla de modulo *Diseño de Muestreo*:

The screenshot shows a dialog box titled "Puntos de muestreo". It contains the following fields and controls:

- Archivo de zonificación:** A text input field with a folder icon button next to it.
- Variables:** A large empty text area.
- Tipo de red:** A dropdown menu with the value "Cantidad de celdas".
- Sin generalización:** A checkbox that is currently unchecked.
- Filas:** A text input field.
- Columnas:** A text input field.
- Capa de muestreo:** A text input field with a folder icon button next to it.
- Buttons:** "Aceptar", "Cancelar", and "Mostrar ayuda >>" at the bottom.

Pantallas del modulo *Optimizar Muestreo*:



4.2. Forma de navegación de interfaz de pantalla

Para utilizar alguno de los tres módulos disponibles se debe seleccionar el que corresponda del menú que se marca en la figura . No hay navegación entre las pantallas, dentro de las mismas la navegación se puede realizar utilizando el mouse o tabulador.



Descripción de la Arquitectura

Versión 1.1

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
20/12/2012	1.0	Creación del documento	Gonzalo Parente
22/12/2012	1.1	Revisión del documento	Nicolás Oliveri

Contenido

CONTENIDO	113
1. INTRODUCCIÓN	114
1.1. PROPÓSITO	114
1.2. ALCANCE	114
1.3. DEFINICIONES, SIGLAS Y ABREVIATURAS.	114
1.4. VISIÓN GENERAL	114
2. VISTA DEL MODELO DE CASOS DE USO	115
2.1. DIAGRAMA DE CASOS DE USO RELEVANTES A LA ARQUITECTURA	115
2.2. CASOS DE USO RELEVANTES A LA ARQUITECTURA	115
2.2.1. <i>Caracterización de la variabilidad temporal</i>	115
2.2.2. <i>Diseño de muestreo</i>	116
2.2.3. <i>Optimizar muestreo</i>	116
3. TRAZABILIDAD DESDE EL MODELO DE CASOS DE USO AL MODELO DE DISEÑO	117
3.1.1. <i>Caracterización de la variabilidad temporal</i>	117
3.1.2. <i>Diseño de muestreo</i>	117
3.1.3. <i>Optimizar muestreo</i>	117
4. VISTA DEL MODELO DE DISEÑO	118
4.1. DESCOMPOSICIÓN EN SUBSISTEMAS.....	118
4.1.1. <i>UI Presentación</i>	118
4.1.2. <i>Lógica Negocio</i>	118
4.1.3. <i>API ArcGIS</i>	119
5. VISTA DEL MODELO DE IMPLEMENTACIÓN	119
5.1. INTERFACES	119
5.1.1. <i>Interfaz del add-in</i>	119

5. Introducción

El propósito del siguiente documento es describir en detalle los principios arquitectónicos para la construcción del producto a desarrollar.

5.1. Propósito

Este documento proporciona una apreciación global y comprensible de la arquitectura del sistema usando diferentes puntos de vista para mostrar distintos aspectos del sistema. Intenta capturar y llegar a las decisiones de arquitectura críticas que han sido hechas en el sistema.

5.2. Alcance

Este documento contendrá información que servirá de base en las actividades de diseño del sistema.

5.3. Definiciones, siglas y abreviaturas.

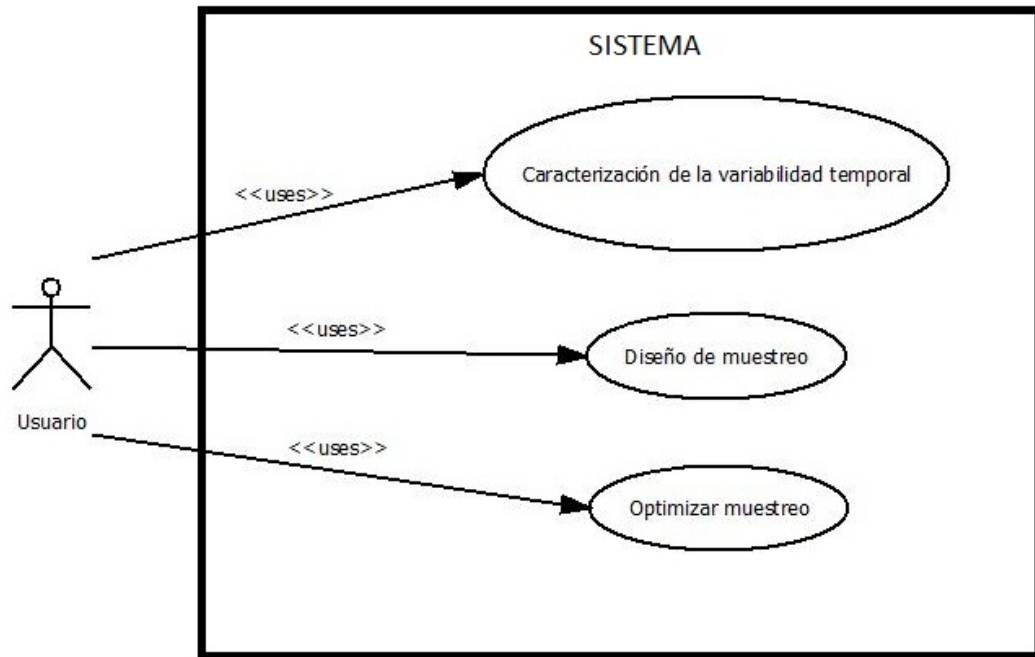
Para esta información por favor refiérase al glosario

5.4. Visión general

El documento de arquitectura contiene información acerca de los casos de uso más relevantes a la hora de diseñar el sistema a construir.

6. Vista del Modelo de Casos de Uso

6.1. Diagrama de Casos de Uso relevantes a la Arquitectura



6.2. Casos de Uso relevantes a la Arquitectura

En esta etapa se identifica un solo actor, el cual será el que utilizara la herramienta de optimización de muestreo de campo.

Los casos de usos son:

- Caracterización de la variabilidad temporal
- Diseño de muestreo
- Optimizar muestreo

6.2.1. Caracterización de la variabilidad temporal

Precondiciones:

Existen mapas históricos continuos en el espacio cargados en la herramienta ArcMap de ArcGIS 10.0.

Descripción:

El usuario elige los mapas continuos en el espacio a utilizar, realizando una selección sobre los mapas cargados en ArcMap. Luego para cada uno de los mapas seleccionados, deberá elegir el atributo con el cual se realizara la caracterización de la variabilidad temporal.

Post condición:

El sistema crea una capa en formato shapefile con la caracterización temporal según parámetros seleccionados, la cual queda visible en ArcMap y guardada en la ruta especificada por el actor.

Por más detalle ver modelo de casos de uso v1.1

6.2.2. Diseño de muestreo

Precondiciones:

Existe un archivo de zonificación disponible.

Descripción:

El actor selecciona el archivo de zonificación de un campo y luego deberá elegir las variables a tener en cuenta para calcular la variabilidad, el tipo de red (por cantidad de celdas o por tamaño de celdas) y además la ruta y el nombre para la capa de muestreo resultante.

Post condición:

El sistema crea una capa en formato shapefile con los posibles puntos de muestreo, el cual queda visible en ArcMap y guardado en la ruta especificada por el actor.

Por más detalle ver modelo de casos de uso v1.1

6.2.3. Optimizar muestreo

Precondiciones:

Existe un shapefile de tipo POINT con los posibles puntos de muestreo que tiene una columna de datos con nombre “Valor” que representa la variabilidad en el punto.

Descripción:

El usuario selecciona una capa con los posibles puntos de muestreo, método de estimación (IDW), rango (distancia máxima a la cual los puntos mantienen correlación espacial según semivariograma), error de estimación aceptado, opcionalmente puede modificar los parámetros del algoritmo de optimización, además debe ingresar ruta y nombre para la capa resultante.

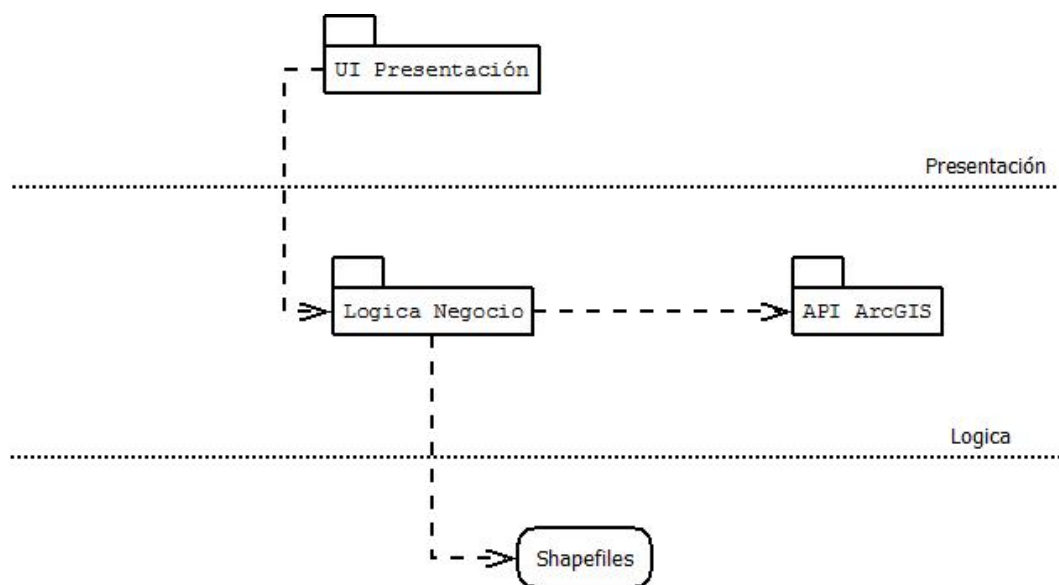
Post condición:

Se crea en el directorio especificado por el usuario, el archivo de texto que contiene el resumen de la ejecución (“ddMMaaaa_hhmm_Resumen.txt”) y un directorio (“ddMMaaaa_hhmm_Capas”) conteniendo los shapefiles con las configuraciones de muestreo óptimo según la cantidad de muestras, los cuales quedan visibles en ArcMap.

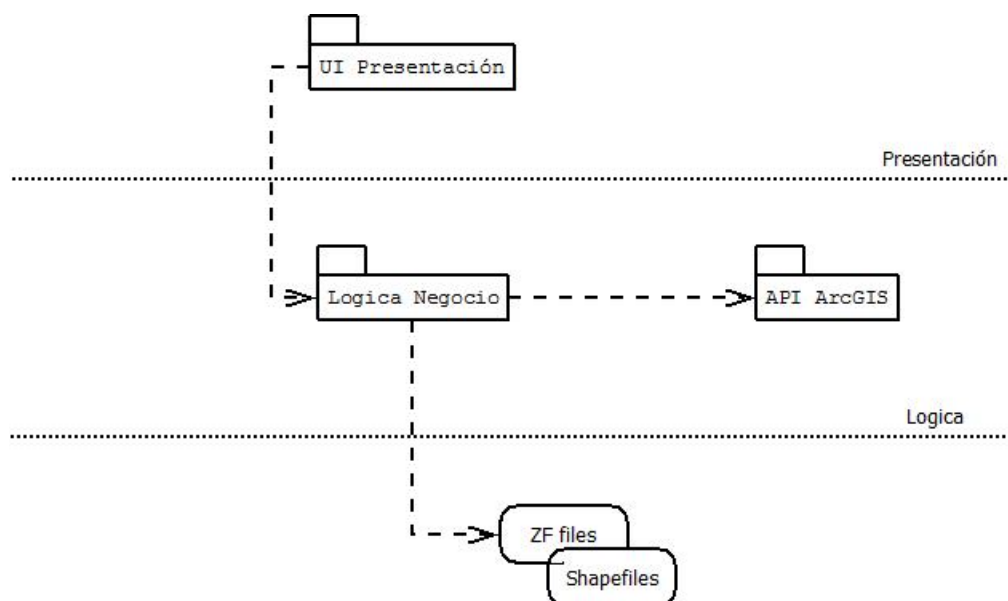
Por más detalle ver modelo de casos de uso v1.1

7. Trazabilidad desde el Modelo de Casos de Uso al Modelo de Diseño

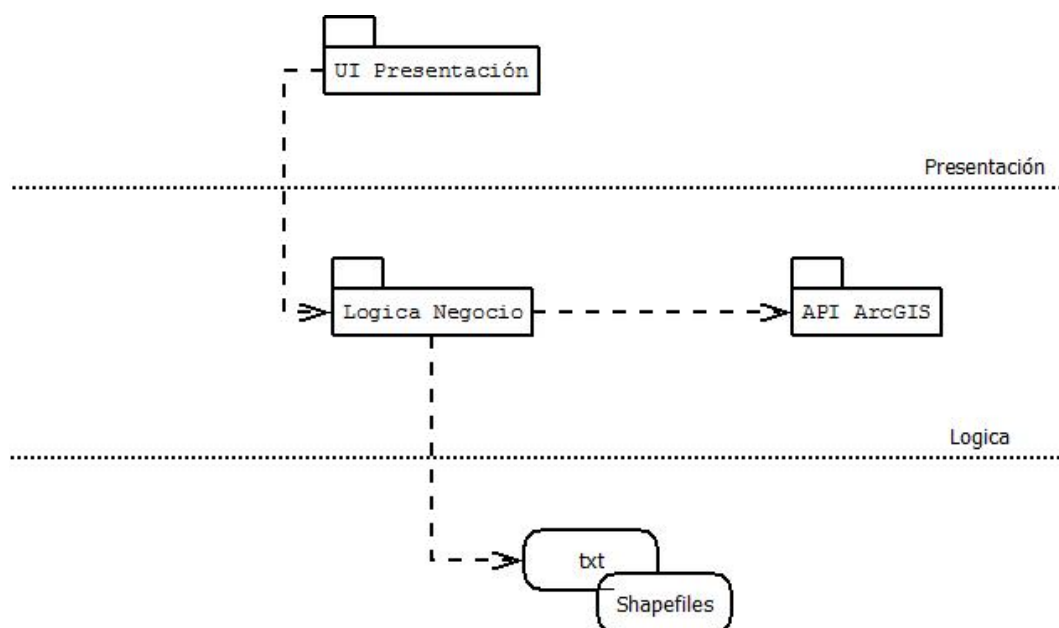
7.1.1. Caracterización de la variabilidad temporal



7.1.2. Diseño de muestreo

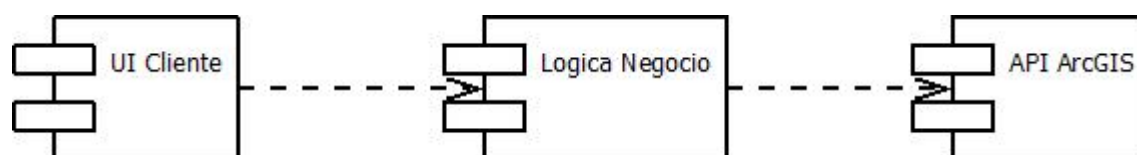


7.1.3. Optimizar muestreo



8. Vista del Modelo de Diseño

8.1. Descomposición en Subsistemas



8.1.1. UI Presentación

Tiene la interfaz de usuario. Hay una interfaz para cada uno de los submodulos. Las mismas se encargan de mostrar los componentes gráficos pero no implementa ninguna parte de la lógica del negocio, para ello consume servicios que proporciona el subsistema Lógica Negocio. Su implementación se realizó mediante el IDE de visual studio 2010.

8.1.2. Lógica Negocio

Es el encargado de realizar la lógica de la aplicación. Manipula distintos tipos de datos (shapefiles, ZF files, txt) y mediante la utilización de métodos estudiados o algoritmos definidos realiza la caracterización de la variabilidad temporal (basado en el estudio de Blackmore), define posibles puntos de muestreo (agrupando datos de entrada según parámetros seleccionados por el usuario como por ejemplo variables a utilizar en el estudio, y tipo de red a crear para realizar la agrupación antes mencionada), y optimiza la cantidad de puntos a muestrear (utilizando el algoritmo SSA) definiendo cantidad y ubicación optima de los mismos. Para llevar a cabo todas las actividades antes mencionadas la implementación consume servicios de la API de ArcGIS. Por más detalle ver documento Modelo de diseño_v2.1.

8.1.3. API ArcGIS

Es una biblioteca de ayuda para programadores y desarrolladores de aplicaciones que trabajan con ArcGIS. Provee una gran cantidad de funcionalidades ya implementadas que facilitan la tarea de crear, editar, analizar y visualizar datos geográficos, facilitando de esta manera la implementación de add-ins y aplicaciones de ArcGIS personalizadas.

9. Vista del Modelo de Implementación

9.1. Interfaces

9.1.1. Interfaz del add-in

Tiene la interfaz que permite a los usuarios utilizar las funcionalidades brindadas por el add-in (caracterización de la variabilidad temporal, diseñar muestreo y optimizar muestreo), logrando la independencia entre la capa de presentación y la capa lógica.

IMPLEMENTACIÓN

Estándar de Implementación

Versión 1.0

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
16/12/2012	1.0	Creación del documento	Martin Varela
19/12/2012	1.1	Revisión del documento	Nicolás Oliveri

Contenido

1. OBJETIVOS.....	122
2. CONVENCIONES GENERALES	122
3. CONVENCIONES ESPECÍFICAS.....	122
3.1. VARIABLES Y CONSTANTES	122
3.2. INDENTACIÓN.....	122
3.3. EXCEPCIONES.....	122
4. OTROS	122

1. Objetivos

Presentar un conjunto de lineamientos que permitan mejorar la comprensión y claridad del código. Mediante estos lineamientos se pretende facilitar la comprensión y reutilización de los componentes creados.

2. Convenciones Generales

Se deben incorporar comentarios en el código regularmente para incrementar la claridad del mismo. Para esto, deben haber comentarios explicativos en:

- Los pasos de cada controlador
- Firmas de todas las funciones implementadas
- Partes del código complejas que requieran explicación

3. Convenciones Específicas

3.1. Variables y Constantes

Los nombres de las variables deben estar relacionados con lo que estas representan. En cuanto a la nomenclatura, la primera debe estar en minúsculas y cada palabra posterior debe comenzar con una letra mayúscula.

Ejemplos: contador, cantidadIteraciones, capaBaseBlackmore.

3.2. Indentación

Es altamente recomendable mantener una correcta indentación del código y dejar algunas líneas en blanco que permitan facilitar la lectura. El entorno de desarrollo utilizado (Visual Studio 2010) realiza la tarea de indentación automáticamente.

3.3. Excepciones

Las excepciones deben ser manejadas por intermedio de la clase 'ProyectoException'. Cada vez que se desee informar al usuario que ha ocurrido un error en la capa lógica, el mensaje debe ser enviado a la capa de presentación mediante este tipo de excepción.

4. Otros

En la medida que sea posible, se deben eliminar referencias, código, clases y archivos que no se utilicen. Esto mejora la comprensión y claridad de la solución construida.

VERIFICACIÓN

Plan de Verificación y Validación

Versión 4.0

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
22/08/2012	1.0	Creación del documento	Nicolás Oliveri.
05/09/2012	2.0	Finalización documento.	Nicolás Oliveri.
06/09/2012	2.1	Revisión del documento.	Gonzalo Parente, Nicolás Oliveri.
24/11/2012	3.0	Actualización del documento	Nicolás Oliveri.
25/11/2012	3.1	Revisión del documento	Gonzalo Parente, Nicolás Oliveri.
20/12/2012	4.0	Actualización del documento	Nicolás Oliveri.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	126
1.1. PROPÓSITO	126
1.2. PUNTO DE PARTIDA	126
1.3. ALCANCE	126
1.4. IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	127
1.5. ESTRATEGIA DE EVOLUCIÓN DEL PLAN	128
2. REQUERIMIENTOS PARA VERIFICAR	128
2.1. REQUERIMIENTOS FUNCIONALES:.....	128
<i>Modulo 1: Caracterización de la variabilidad temporal.....</i>	<i>128</i>
<i>Modulo 2: Diseño de muestreo.....</i>	<i>128</i>
<i>Modulo 3: Optimización de muestreo.....</i>	<i>129</i>
2.2. REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES:.....	129
<i>Mantenible:</i>	<i>130</i>
<i>Confiabilidad:</i>	<i>130</i>
<i>Usabilidad:</i>	<i>130</i>
3. ESTRATEGIA DE VERIFICACIÓN.....	130
3.1. TIPOS DE PRUEBAS	131
3.1.1. Prueba de Funcionalidad	131
3.1.2. Prueba de Interface de Usuario	131
3.1.3. Prueba de Volumen	132
3.1.4. Prueba de Instalación.....	132
3.1.5. Prueba de Documentos.....	133
3.2. HERRAMIENTAS	134
4. RECURSOS.....	134
4.1. ROLES	134
4.2. SISTEMA.....	135
5. HITOS DEL PROYECTO DE VERIFICACIÓN	135
6. ENTREGABLES.....	136
6.1. MODELO DE CASOS DE PRUEBA	136
6.2. INFORMES DE VERIFICACIÓN.....	136
6.3. EVALUACIÓN DE LA VERIFICACIÓN	137
6.4. INFORME FINAL DE VERIFICACIÓN	137
7. DEPENDENCIAS	137
7.1. DEPENDENCIA DE PERSONAL	137
7.2. DEPENDENCIA DE SOFTWARE	137
7.3. DEPENDENCIA DE HARDWARE	138
7.4. DEPENDENCIA DE DATOS.....	138
8. RIESGOS.....	138
8.1. PLANIFICACIÓN	138

8.2. TÉCNICO.....	138
8.3. GESTIÓN.....	138
9. APÉNDICE.....	139
9.1. NIVELES DE GRAVEDAD DE ERROR	139
9.2. NIVELES DE ACEPTACIÓN PARA LOS ELEMENTOS VERIFICADOS	139

1. Introducción

1.1. Propósito

Este Plan de Verificación para el proyecto “Implementación de herramienta de optimización de muestreo para agricultura en un sistema de información geográfico” soporta los siguientes objetivos:

- Se validaran los requerimientos con el cliente.
- Se verificaran los requerimientos de cada módulo de la aplicación, en cada una de sus versiones.
- Partiendo de los requerimientos y/o especificaciones, se realizaran pruebas de caja negra para verificar el producto; diseñando casos de prueba para las funcionalidades evaluadas como críticas y/o complejas. Además se utilizara la técnica de testing exploratorio.
- Los recursos disponibles para la tarea de verificación son los integrantes del grupo:
 - o Martin Varela
 - o Gonzalo Parente
 - o Nicolás Oliveri

1.2. Punto de partida

La verificación tiene por objetivo descubrir defectos en el software para corregirlos y evaluar la calidad del producto. A su vez asegurar que el producto cumple con los requerimientos funcionales y no funcionales que el cliente especificó.

El destino de la verificación son todos los modulo desarrollados a lo largo del proyecto así como también su interacción e integración.

Se entienden como objetivos del proyecto el desarrollo de una herramienta de optimización de muestreo, que caracterice la variabilidad temporal y espacial de la productividad de diferentes cultivos agrícolas, determinando el número y localización óptimos para el muestreo de nutrientes. La herramienta debe integrarse al sistema de información geográfica ArcGIS y contara con tres módulos

- Caracterización de la variabilidad temporal (Blackmore)
- Diseño de muestreo
- Optimización de muestreo

1.3. Alcance

El proceso de verificación de la herramienta de optimización de muestreo constará de los siguientes tipos de prueba:

- Unitaria:
Se verifican en forma unitaria los componentes del sistema, de esta manera se intenta asegurar el correcto funcionamiento de cada uno de los módulos por separado. Se realizara en grupo la técnica estática de análisis de código por

recorridas, en la cual el código es revisado simulando la ejecución del mismo, buscando defectos.

- Integración:
Es objetivo es identificar problemas al combinar los módulos de la herramienta. Será necesario la utilización de stub y driver.
- Pruebas del Sistema: se realizan para verificar que el sistema cumple con sus requerimientos.
El tipo de pruebas serán:
 - Funcional: teniendo en cuenta el alcance del producto, se verifica que el sistema implementa todas las funcionalidades descritas en los documentos de requerimientos.
 - Usabilidad.
 - Configuración: que el add-in pueda ser cargado correctamente en ArcMap.
 - Volumen: se prueba el sistema con un gran volumen de datos.
- Aceptación: se verifica que el sistema cumple las expectativas del cliente. Es realizada por el cliente mismo o en su defecto el grupo de usuarios finales del producto.
- Diseño: se verificará que el diseño y la arquitectura utilicen buenas prácticas, además que el código sea legible, con comentarios que ayuden en su entendimiento.
- Documentos: estas pruebas deben asegurar que los documentos relacionados al software que se generen en el proceso sean correctos, consistentes y entendible. Se incluyen como documentos el manual de usuario, y el informe final de verificación
- Riesgos que se pueden presentar en el proyecto:
 - No verificar adecuadamente los requerimientos o no verificar a tiempo, esto podría afectar el diseño de la aplicación. Un plan de contingencia es crear prototipos que ayuden a mitigar este riesgo.
 - No contar con datos para realizar las pruebas.
- Restricciones
 - Contar con un acotado conjunto de datos de prueba (mapas), puede limitar el alcance del diseño de las pruebas.

1.4. Identificación del proyecto

Los documentos usados para elaborar el Plan de Verificación son los siguientes:

- Plantilla del Plan de Verificación y Validación especificada en el Modelo de Proceso Modularizado Unificado y Medible.
- Documento de Especificación de Requerimientos.

- Diapositivas del curso Introducción a la Ingeniería de Software acerca de Verificación y Validación.
- Diapositivas del curso Taller de verificación de Software acerca de Verificación y Validación.

1.5.Estrategia de evolución del Plan

El seguimiento del Plan de Verificación y Validación será responsabilidad de Nicolás Oliveri.

El plan será revisado periódicamente a lo largo del proyecto para evaluar ajustes según sea necesario. Es de esperar que el mayor numero de modificaciones sean en las etapas tempranas del proyecto, momento en el cual se esté negociando los requerimientos y el alcance con el cliente.

Los cambios en el plan de verificación podrán ser sugeridos por cualquiera de los integrantes del equipo, luego serán evaluados y aprobados en el caso que corresponda por el responsable de verificación en conjunto con los demás integrantes.

La última versión del Plan estará disponible en el repositorio de documentos, en el directorio asignado a verificación.

2. Requerimientos para verificar

En la lista a continuación se presentan los elementos, casos de uso, requerimientos funcionales y requerimientos no funcionales, que serán verificados.

2.1.Requerimientos funcionales:

Estos requerimientos funcionales fueron relevados junto al cliente y luego seleccionados por ambas partes al momento de definir el alcance del proyecto, por tal motivo forman parte de los documentos de especificación de requerimientos y alcance del proyecto.

A continuación se detallan cada uno de los requerimientos por módulos de la aplicación.

Modulo 1: Caracterización de la variabilidad temporal

1. El sistema a partir de la entrada de mapas históricos continuos en el espacio (por ej: mapas de rendimiento), debe generar una capa que representa la caracterización de la variabilidad temporal.

Modulo 2: Diseño de muestreo

1. Selección de capa de zonificación:
El sistema debe permitir seleccionar un Archivo de zonificación indicando la ruta del mismo o utilizando el buscador de archivos en la ventana del add-in.
2. Permitir distintas configuraciones de atributos para crear diseño de muestreo.
 - o Variables: Permite seleccionar entre las variables provistas por el archivo de zonificación seleccionado, cuales serán utilizadas para el estudio de la variabilidad.

- o Tipo de red: Permite seleccionar como se hará la generalización de puntos:
 - ✓ Cantidad de celdas: se debe indicar la cantidad de filas y columnas que tendrá la red resultante.
 - ✓ Tamaño de celdas: se deberá indicar el ancho y alto de las celdas que tendrá la red resultante.
 - ✓ Sin generalización: se utilizaran todos los puntos de zonificación como posibles puntos de muestreo.
 - o Capa de muestreo: Permite seleccionar el nombre como así también la ubicación para el shapefile resultante.
3. Se debe obtener como resultado de ejecución de este modulo una red de muestreo teniendo en cuenta los parámetros antes mencionados.

Modulo 3: Optimización de muestreo

1. Selección de red de muestreo:

El sistema debe permitir seleccionar una red de muestreo indicando la ruta de la misma o utilizando el buscador de archivos en la ventana del add-in.
2. Permitir distintas configuraciones de atributos para optimizar el muestreo.
 - o Método de estimación: IDW.
 - o Rango: distancia máxima a la cual los puntos mantienen correlación espacial según semivariograma.
 - o Error: porcentaje de error de estimación aceptado.
 - o Ajuste de parámetros: opcionalmente puede modificar los parámetros del algoritmo de optimización.
 - o Capas de muestreo óptimo: Permite seleccionar el directorio para los shapefiles resultantes y el archivo de resumen.
3. El sistema debe retornar los diseños de muestreo óptimo como un conjunto de capas de ArcGIS, que contienen cantidad y localización en el campo de los puntos de muestreo para cada una de ellas. Además debe retornar el archivo de resumen en el directorio especificado.

2.2. Requerimientos No funcionales:

Mantenible:

El código deberá estar correctamente comentado, de forma tal de facilitar su extensibilidad y mantenibilidad.

Confiabilidad:

Se deberán manejar las excepciones, para aumentar la robustez del mismo. El 80% de las pruebas no finalizan su ejecución por excepciones.

Usabilidad:

Se deberá contar con ayudas de contexto y tooltips, para mejorar la usabilidad del sistema.

3. Estrategia de Verificación

Esta sección presenta el enfoque recomendado para la verificación. Describe como se verificarán los elementos.

Para cada tipo de prueba, se brindará una descripción de la prueba y porque será implementada y ejecutada.

Se indicarán las técnicas usadas y el criterio para saber cuándo una prueba se completó (criterio de aceptación).

Se deberá realizar pruebas funcionales, de interfaz de usuario, de volumen, de instalación y de documento. Para dichas pruebas se generarán los casos de prueba y sus respectivos reportes, los cuales deberán ser entregados al responsable de verificación.

Por cada versión liberada se deberá seguir el siguiente ciclo:

- Configurar el ambiente de prueba
 - Se debe “congelar” una versión del producto y asegurar que cada uno de los verificadores trabajen sobre la misma versión, además se debe contar con un conjunto de datos de pruebas conocido.
- Diseño de las pruebas
 - Se escriben los casos de prueba que se van a ejecutar.
- Ejecución de las pruebas
 - Lo realiza el equipo de verificadores.
 - Los resultados posibles son: “Aprobado”, “No Aprobado”, “Aprobado con observaciones”.
- Seguimiento de las pruebas
 - Lo realiza el responsable de verificación.
 - Se lleva registro de los distintos incidentes, reportando y analizando las anomalías encontrados en la ejecución de las distintas pruebas efectuadas.

3.1. Tipos de pruebas

3.1.1. Prueba de Funcionalidad

La prueba de funcionalidad se enfoca en requerimientos para verificar que se corresponden directamente a casos de usos o funciones y reglas del negocio. Los objetivos de estas pruebas son verificar la aceptación de los datos, el proceso, la recuperación y la implementación correcta de las reglas del negocio. Este tipo de prueba se basa en técnicas de caja negra, que consisten en verificar la aplicación y sus procesos interactuando con la aplicación por medio de la interface de usuario y analizar los resultados obtenidos.

12.1.1.1. Objetivo de la prueba

Asegurar la funcionalidad apropiada del objeto de prueba, incluyendo la navegación, entrada de datos, proceso y recuperación.

12.1.1.2. Técnica

Ejecute cada caso de uso, flujo de caso de uso, o función usando datos válidos y no válidos, para verificar lo siguiente:

Se obtienen los resultados esperados cuando se usan datos válidos.

Cuando se usan datos no válidos se despliegan los mensajes de error o advertencia apropiados.

Se aplica apropiadamente cada regla del negocio.

12.1.1.3. Criterio de aceptación

Todas las pruebas planificadas se realizaron. Todos los defectos encontrados han sido debidamente identificados.

12.1.1.4. Consideraciones especiales

No verificar adecuadamente los requerimientos o no verificar a tiempo podría afectar el diseño de la aplicación. Además contar con un acotado conjunto de datos de prueba (mapas), puede limitar el alcance del diseño de las pruebas.

3.1.2. Prueba de Interface de Usuario

Esta prueba verifica que la interface de usuario proporcione al usuario el acceso y navegación a través de las funciones apropiada. Además asegura que los objetos presentes en la interface de usuario se muestren como se espera y conforme a los estándares establecidos por el cliente.

Para nuestro proyecto el cliente solicito que la interfaz siga el estilo de la interfaz de ArcGIS.

12.1.2.1. Objetivo de la prueba

Verificar que: la navegación a través de los elementos que se están probando reflejen las funciones del negocio y los requerimientos, incluyendo manejo de ventanas, campos y métodos de acceso; los objetos de las ventanas y características, como menús, tamaño, posición, estado funcionen de acuerdo a los estándares.

12.1.2.2. Técnica

Crear o modificar pruebas para cada ventana verificando la navegación y los estados de los objetos para cada ventana de la aplicación y cada objeto dentro de la ventana.

12.1.2.3. Criterio de aceptación

Cada ventana ha sido verificada exitosamente siendo consistente con una versión de referencia o estándar establecido.

12.1.2.4. Consideraciones especiales

No aplica.

3.1.3. Prueba de Volumen

La Prueba de Volumen somete el software a grandes cantidades de datos para determinar si se alcanzan límites que causen la falla del software. La Prueba de Volumen identifica la carga máxima continua que puede manejar el software a prueba en un período dado.

12.1.3.1. Objetivo de la prueba

Verificar que el software funciona correctamente con volúmenes de datos grandes:

Máxima área de campo sin realizar una generalización (agrupación de puntos efectuando un promedio de los mismos para acotar el número de muestras posibles) al que se le puede realizar una optimización de muestreo.

12.1.3.2. Técnica

Se utilizaran mapas de manera tal de ir aumentando el área de campo a estudiar, hasta llegar a un área límite definida en común acuerdo con el cliente.

12.1.3.3. Criterio de aceptación

Todas las pruebas planificadas se ejecutaron y se han alcanzado o excedido los límites especificados sin que el software falle.

12.1.3.4. Consideraciones especiales

¿Qué período de tiempo se considera aceptable para condiciones de gran volumen? Definir en común acuerdo con el cliente los periodos de tiempo antes mencionados.

3.1.4. Prueba de Instalación

La Prueba de Instalación tiene el propósito de verificar que el software puede ser instalado en la versión de ArcGIS definida en el documento de requerimientos.

12.1.4.1. Objetivo de la prueba

Verificar que el software objeto de prueba se instala correctamente en la versión de ArcGIS definida en el documento de requerimientos:

Instalación nueva, una nueva máquina, con la versión de ArcGIS correctamente instalada.

12.1.4.2. Técnica

Manualmente, para validar la condición de la máquina destino (nueva, nunca instalado).

Realizar la instalación.

Ejecutar un conjunto de pruebas funcionales ya implementadas para la Prueba de Funcionalidad.

12.1.4.3. Criterio de aceptación

Las pruebas de funcionalidad de la herramienta de optimización de muestreo para agricultura en un sistema de información geográfico se ejecutan exitosamente sin fallas.

12.1.4.4. Consideraciones especiales

No aplica.

3.1.5. Prueba de Documentos

La Prueba de Documentos debe asegurar que los documentos relacionados al software que se generen en el proceso sean correctos, consistentes y entendibles. Se incluyen como documentos el manual de usuario y la documentación que forma parte del paquete de software.

12.1.5.1. Objetivo de la prueba

Verificar que el documento objeto de prueba sea:

Correcto, esto es, que cumpla con el formato y organización para el documento establecido en el proyecto.

Consistente, esto es, que el contenido del documento sea fiel a lo que hace referencia. Si el documento es Documentación de Usuario, que la explicación de un procedimiento sea exactamente como se realiza el procedimiento en el software, si se muestran pantallas que sean las correctas.

Entendible, esto es, que al leer el documento se entienda correctamente lo que expresa y sin ambigüedades, además que sea fácil de leer.

12.1.5.2. Técnica

Para verificar que el documento es correcto se debe comparar con el estándar definido si existe o con las pautas de documentación y ver que el documento cumple con ellas.

Para verificar que el documento es Consistente se debe ejecutar el programa siguiendo el documento en caso de los Materiales de Soporte al Usuario y comprobar que lo que se explica en estos documentos es exactamente lo que se ejecuta en el programa. En caso de Documentación Técnica se debe revisar el código al cual corresponde la documentación y comprobar que dicha describe el código.

Para verificar que el documento es entendible, debe comprobar que se entiende correctamente, que no tiene ambigüedades y que sea fácil de leer.

12.1.5.3. Criterio de aceptación

El documento expresa exactamente lo que debe expresar, no hay diferencias entre lo que está escrito y el objeto de la descripción (operación de software, código de programa, decisiones técnicas) y se entiende fácilmente.

12.1.5.4. Consideraciones especiales

No aplica.

3.2.Herramientas

- C# (C-Sharp)
Lenguaje de programación orientado a objetos.
- Entorno de desarrollo:
 - o Visual Studio 2010 Ultimate con framework 3.5
 - o Arc Objects SDK for the Microsoft .NET Framework
 - o ArcGIS Desktop 10
- Microsoft Office 2007
 - o Herramienta para realizar documentación.
- DropBox.
 - o Repositorio de documentos.
- Git:
 - o Software de control de versiones, utilizado para el mantenimiento de las versiones de la aplicación.
- GitHub:
 - o servicio de alojamiento de repositorios de software utilizando el sistema de control de versiones Git.

4. Recursos

En esta sección se presentan los recursos recomendados para el proyecto “Implementación de herramienta de optimización de muestreo para agricultura en un sistema de información geográfico”, sus principales responsabilidades y su conocimiento o habilidades.

4.1.Roles

En la tabla a continuación se muestra la composición de personal para el proyecto “Implementación de herramienta de optimización de muestreo para agricultura en un sistema de información geográfico” en el área Verificación del Software.

Rol	Cantidad mínima de recursos recomendada	Responsabilidades
Responsable de verificación	1	Identifica, prioriza e implementa los casos de prueba. • Genera el Plan de

		Verificación. • Genera el Modelo de Prueba. • Evalúa el esfuerzo necesario para verificar. • Proporciona la dirección técnica. • Adquiere los recursos apropiados. • Proporciona informes sobre la verificación.
Asistente de verificación	2	• Ejecuta las pruebas • Registra los resultados de las pruebas. • Recuperar el software de errores. • Documenta los pedidos de cambio.

4.2.Sistema

En la siguiente tabla se establecen los recursos de sistema necesarios para realizar la verificación.

El sistema simula el entorno de producción, realizando las pruebas en una PC con las características de la PC del cliente.

Recurso	Nombre/Tipo
PC Cliente para pruebas	PC con Windows 7 x64

5. Hitos del proyecto de Verificación

Actividad que determina el hito	Esfuerzo	Fecha de comienzo	Fecha de finalización
Planificar la verificación	20 hs	22/08/2012	05/09/2012
Elaborar casos de prueba	6 hs	05/09/2012	05/09/2012
Fase Elaboración		01/12/2012	01/02/2013
Elaborar casos de prueba (Prototipo Cliente)	30 hs	01/12/2012	12/12/2012
Ajuste y Control de Verificación	10 hs	12/12/2012	15/12/2012
Ejecutar la verificación	40 hs	01/01/2013	25/01/2013
Evaluar la verificación	10 hs	18/01/2013	01/02/2013
Fase Construcción		20/01/2013	02/05/2013

Elaborar casos de prueba	30 hs	2/02/2013	20/02/2013
Ajuste y Control de Verificación	15 hs	20/02/2013	05/03/2013
Ejecutar la verificación	100 hs	10/02/2013	25/04/2013
Evaluar la verificación	20 hs	15/03/2013	02/05/2013
Fase Transición		03/05/2013	10/06/2013
Ajuste y Control de Verificación	10 hs		
Ejecutar la verificación	10 hs		
Evaluar la verificación	30 hs		

13. Entregables

En esta sección se enumeran los documentos, herramientas e informes que se crearán, por quien, para quién y cuándo serán liberados.

Para cada entregable se indica las fechas en que son liberadas todas las versiones del mismo.

13.1. Modelo de Casos de Prueba

Documento	Modelo de Casos de Prueba
Creado por	El Responsable de verificación, Nicolás Oliveri.
Para quien	Es la guía para realizar las pruebas del sistema y lo usarán los Asistentes de verificación y el Responsable de verificación cuando se ejecuten las pruebas del sistema.
Fecha de liberación	Será liberado al principio de la fase de elaboración.

13.2. Informes de Verificación

Documento	Se genera un documento Informe de Verificación de Sistema por cada prueba de sistema que se realice.
Creado por	Las personas que ejecutan las pruebas.
Para quien	Es el retorno para los implementadores de la tarea de verificación, que detalla los errores encontrados para que puedan ser corregidos.
Fecha de liberación	Será liberado luego de cada verificación de sistema. La fecha de liberación aun no está definida.

13.3. Evaluación de la verificación

Documento	Se genera un documento Gestión de anomalías . Este documento en formato Excel contiene las fallas encontradas en el sistema, la cobertura de la verificación realizada y el estado del sistema.
Creado por	El Responsable de verificación, que toma como fuente de su trabajo los Informes de verificación.
Para quien	Es el resumen de la tarea de verificación y es el retorno para todo el equipo de trabajo del estado del sistema. En el mismo se detallan los errores encontrados para que puedan ser corregidos.
Fecha de liberación	Este documento se ira actualizando luego de cada verificación, unitaria, de integración y de sistema. El mismo estará siempre disponible para su actualización y/o consulta.

13.4. Informe final de verificación

Documento	El documento Informe final de verificación es el resumen de la verificación final del sistema antes de que sea liberado al entorno del usuario.
Creado por	El Responsable de verificación, que toma como fuente de su trabajo los Informes de verificación.
Para quien	Indica el estado del sistema.
Fecha de liberación	Será liberado luego de la verificación final del sistema.

7. Dependencias

En esta sección se detallan las dependencias de las actividades de verificación respecto a otros elementos del sistema.

7.1. Dependencia de personal

El equipo cuenta con tres integrantes, los cuales deberán realizar tareas de verificación en cada una de las etapas del proyecto

7.2. Dependencia de software

Será obligatorio que el software entregado para testear tenga una verificación unitaria por parte de cada desarrollador.

Se hará especial énfasis en cumplir con los tiempos establecidos para la implementación de cada uno de los módulos, pues demoras en las implementaciones de los mismos tendrán como consecuencia un menor tiempo disponible para realizar las pruebas de verificación.

7.3.Dependencia de hardware

Se necesitaran equipos que cumplan los requisitos necesarios para ArcGIS 10.0 (ver <http://resources.arcgis.com/es/content/arcgisdesktop/10.0/arcgis-desktop-system-requirements#ArcGISDesktop-HardwareRequirements>)

Además el uso de los mismos es de una cantidad considerable de horas, pues el procesamiento de cómputos es elevado.

7.4.Dependencia de datos

Es necesario contar con datos de pruebas (mapas de rendimientos, históricos de nutrientes y archivos de zonificación existentes) que serán provistos por el cliente.

8. Riesgos

8.1.Planificación

Los riesgos relativos a la planificación, por ejemplo retraso en la liberación del software a verificar, pueden impactar en gran forma en la cantidad y calidad de las pruebas de verificación, además de provocar un retraso en el cronograma de todo el proyecto.

Además se deberá tener en cuenta a la hora de planificar, los periodos de exámenes de la facultad y la ausencia de uno de los integrantes del equipo por concurrir a un seminario en España en el mes de febrero de 2013.

8.2.Técnico

Una de las formas para generar archivos de zonificación será la utilización del add-in agro tool, el cual es provisto por el cliente. El riesgo asociado es tener problemas de instalación y/o compatibilidad del mismo, además de no tener un conocimiento en el uso de la herramienta.

8.3.Gestión

Para mitigar los riesgos en las tareas de verificación, se hará una sobreestimación de los tiempos que se dedicaran a cada tarea, de esta manera se tendrá cierto margen sobre el tiempo estimado, que ayudara a contemplar posibles desviaciones en el calendario.

9. Apéndice

9.1. Niveles de gravedad de error

En muchas actividades del proceso de verificación se deben clasificar los errores según su nivel de gravedad. Se asigna un nivel de gravedad a los errores para poder capturar de alguna manera su impacto en el sistema. Además para poder evaluar la verificación y el sistema.

A continuación se da una sugerencia de cuatro niveles diferentes de gravedad de error:

Catastrófico: un error cuya presencia impide el uso del sistema.

Crítico: un error cuya presencia causa la pérdida de una funcionalidad crítica del sistema. Si no se corrige el sistema no satisfará las necesidades del cliente.

Marginal: un error que causa un daño menor, produciendo pérdida de efectividad, pérdida de disponibilidad o degradación de una funcionalidad que no se realiza fácilmente de otra manera.

Menor: un error que no causa perjuicio al sistema, pero que requiere mantenimiento o reparación. No causa pérdida de funcionalidades que no se puedan realizar de otra manera.

9.2. Niveles de aceptación para los elementos verificados

Se debe establecer un nivel de aceptación para los elementos verificados para poder establecer el estado en el que se encuentra el proyecto.

En esta sección defina niveles de aceptación y los criterios de pertenencia a cada nivel.

Como ejemplo de niveles de aceptación:

No aprobado: el elemento verificado tiene errores catastróficos (uno o varios) que impiden su uso o tiene errores críticos (uno o varios) que hacen que el elemento verificado no sea confiable. El usuario no puede depender de él para realizar el trabajo.

Aprobado con Observaciones: el elemento verificado no tiene errores catastróficos, ni errores críticos, pero tiene errores marginales (uno o varios) que hacen que el elemento de software se degrade en algunas situaciones.

Aprobado: el elemento verificado no tiene errores o tiene errores menores que no afectan el normal funcionamiento del elemento.

Modelo de Casos de Prueba

Versión 1.3

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
27/04/2013	1.0	Creación del documento	Nicolás Oliveri

Responsable de verificación: Nicolás Oliveri

Contenido

1. CASOS Y PROCEDIMIENTOS DE PRUEBAS DEL SISTEMA.....	142
1.1. HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN DE MUESTREO VERSIÓN 1.0	142
1.1.1. <i>Requerimientos Funcionales</i>	142
1.1.2. <i>Casos de Uso</i>	142
1.1.2.1. <i>Caracterización de la variabilidad temporal</i>	142
1.1.2.2. <i>Diseño de muestreo</i>	145
1.1.2.3. <i>Optimización de muestreo</i>	150
1.1.3. <i>Prueba de volumen</i>	155
1.1.4. <i>Requerimientos No funcionales</i>	155
1.1.4.1. <i>Mantenible</i>	155
1.1.4.2. <i>Confiabilidad</i>	155
1.1.4.3. <i>Usabilidad</i>	155
2. PROCEDIMIENTOS DE REPORTES DE INCIDENTES.....	156
3. PROCEDIMIENTOS DE PRUEBA DE DOCUMENTOS.....	157
3.1. <i>FORMATO</i>	157
3.2. <i>CORRECTITUD</i>	157
3.3. <i>ENTENDIBILIDAD</i>	157

1. Casos y procedimientos de Pruebas del Sistema

Se detallan los Casos de pruebas del Sistema que se deben verificar. Incluye la verificación de requerimientos funcionales y no funcionales del Sistema.

1.1.Herramienta de optimización de muestreo Versión 1.0

Subsistemas que lo integran

Submodulos	Versión	Implementador
Caracterización de la variabilidad temporal	1.0	Martin Varela, Gonzalo Parente, Nicolás Oliveri
Diseño de muestreo	1.0	Martin Varela, Gonzalo Parente, Nicolás Oliveri
Optimización de muestreo	1.0	Martin Varela, Gonzalo Parente, Nicolás Oliveri

13.4.1. Requerimientos Funcionales

Se detallan las funcionalidades del Sistema que se deben verificar:

- Caracterización de la variabilidad temporal.
- Diseño de muestreo.
- Optimización de muestreo.

13.4.2. Casos de Uso

13.4.2.1. Caracterización de la variabilidad temporal

El actor elige las capas históricas continuas en el espacio a utilizar, realizando una selección sobre las capas cargadas en ArcMap. Luego para cada una de las capas seleccionadas, deberá elegir la variable con la cual se realizara la caracterización de la variabilidad temporal. Finalmente el actor selecciona la capa base que definirá la extensión de la capa de salida, el nivel de estabilidad que determina si una zona es variable, el tipo de red (por cantidad de celdas o por tamaño de celdas) y además la ruta y el nombre para la capa resultante.

Flujo Normal:

7. El actor elige el modulo Caracterización de la variabilidad temporal.
8. El sistema despliega la ventana del modulo, la misma contendrá las capas cargadas en ArcMap junto a las variables de cada una de ellas.
9. El actor selecciona:
 - Capas
 - Variable a utilizar en cada mapa
 - Capa base
 - Nivel de estabilidad
 - Ingresa ruta donde se creara la capa resultante
 - Tipo de red

- La ruta donde se creara la capa resultante y el nombre para la misma
- 10. El actor confirma selección realizando clic en botón “Aceptar”
- 11. El sistema cierra la ventana de trabajo.
- 12. Fin CU

Flujos Alternativos:

5A. Faltan parámetros de entrada

5A1. El sistema informa que falta ingresar alguno de los campos.

5A2. Ir al punto 03 del Flujo Normal

5B. Formato de parámetro de entrada incorrecto

5B1. El sistema informa que el formato del parámetro de entrada es incorrecto.

5B2. Ir al punto 03 del Flujo Normal

G1 El actor cancela la operación.

Fin CU

Escenarios

Nombre de escenario	Flujo Inicial	Flujo alternativo	Flujo alternativo
E1-Characterización de la variabilidad temporal.	Flujo Principal		
E2-Faltan parámetros de entrada	Flujo Principal	5A	Flujo Principal
E3-Formato de parámetro de entrada incorrecto	Flujo Principal	5B	Flujo Principal

Planilla de Condiciones

Condición	Detalles
C1	Se ingresan datos correctos (capas y demás parámetros de entrada) y las variables seleccionadas no son las mismas en cada capa.
C2	Se ingresan datos correctos (capas y demás parámetros de entrada) y las capas elegidas son de distinto tipo (polígonos, puntos, líneas).
C3	Se ingresan datos correctos (capas y demás parámetros de entrada) y las capas elegidas son del mismo tipo (polígonos, puntos, líneas).
C4	Se ingresan datos correctos (capas y demás parámetros de entrada) y la capa elegida como base no se interseca con las demás capas seleccionadas.
C5	No se seleccionaron al menos dos capas históricas continuas.
C6	El tipo de red seleccionado es “Cantidad de celdas” y falta completar cantidades de filas y/o columnas.

C7	El tipo de red seleccionado es “Tamaño de celdas” y falta completar cantidades de Alto y/o Ancho.
C8	El parámetro “Nivel de estabilidad” no tiene definido un valor.
C9	El parámetro “Ruta destino de capa” no tiene definido un valor.
C10	Se ingresa un dato no numérico al parámetro de entrada “Nivel de estabilidad”
C11	El tipo de red seleccionado es “Cantidad de celdas” y se ingresa un dato no numérico al parámetro de entrada cantidades de filas y/o columnas.
C12	El tipo de red seleccionado es “Tamaño de celdas” y se ingresa un dato no numérico al parámetro de entrada cantidades de Alto y/o Ancho.
C13	La ruta y/o nombre donde se creara la capa resultante contiene alguno de los caracteres prohibidos por Windows para nombres de archivos.

Casos de prueba

Escenario – Condición	Salida Esperada	Casos
E1 - C1	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa en la ruta seleccionada por el usuario y se muestra en el mapa, que contiene las celdas de salida clasificadas según las variables rendimiento y variabilidad. Al no ingresar las mismas variables en cada capa, el resultado no tendrá ningún significado.	C_V_E1-C1
E1 – C2	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa en la ruta seleccionada por el usuario y se muestra en el mapa, que contiene las celdas de salida clasificadas según las variables rendimiento y variabilidad.	C_V_E1-C2
E1 – C3	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa en la ruta seleccionada por el usuario y se muestra en el mapa, que contiene las celdas de salida clasificadas según las variables rendimiento y variabilidad.	C_V_E1-C3
E1 – C4	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa en la ruta seleccionada por el usuario y se muestra en el mapa, que contiene las celdas de salida clasificadas según las variables rendimiento y variabilidad. Como la capa base no se intercepta con ninguna de las otras seleccionadas, el resultado reflejara sólo la información de la capa base, por lo que no	C_V_E1-C4

	tendrá ningún significado.	
E2 – C5	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	C_V_E2-C5
E2 – C6	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	C_V_E2-C6
E2 – C7	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	C_V_E2-C7
E2 – C8	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	C_V_E2-C8
E2 – C9	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	C_V_E2-C9
E3 – C10	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	C_V_E3-C10
E3 – C11	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	C_V_E3-C11
E3 – C12	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	C_V_E3-C12
E3 – C13	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	C_V_E3-C13

Aclaración: Nomenclatura del caso:

C_V: Caracterización de la variabilidad

E1-C1: Escenario 1 y Condición 1

13.4.2.2. *Diseño de muestreo*

El actor selecciona el archivo de zonificación de un campo y luego deberá elegir las variables a tener en cuenta para calcular la variabilidad, el tipo de red (por cantidad de celdas o por tamaño de celdas) y además la ruta y el nombre para la capa de muestreo resultante.

Flujo Normal:

8. El actor elige el modulo Diseño de muestreo.
9. El sistema despliega la ventana del modulo.
10. El actor selecciona el archivo de zonificación.
11. El sistema despliega las posibles variables a tener en cuenta para calcular la variabilidad.
12. El actor selecciona:
 - Variables a tener en cuenta para calcular la variabilidad
 - Tipo de red
 - Ruta donde se creara la capa resultante
 - Nombre para capa resultante.
13. El actor confirma selección realizando clic en botón “Aceptar”.
14. El sistema finaliza la ejecución y cierra la ventana de trabajo.

15. Fin CU

Flujos Alternativos:

4A. El archivo de zonificación no tiene el formato adecuado

4A1. El sistema informa que el archivo de zonificación no tiene el formato adecuado.

4A2. Ir al punto 03 del Flujo Normal

7A. Faltan parámetros de entrada

7A1. El sistema informa que falta ingresar alguno de los campos.

7A2. Ir al punto 05 del Flujo Normal

7B. Formato de parámetro de entrada incorrecto

7B1. El sistema informa que el formato del parámetro de entrada es incorrecto.

7B2. Ir al punto 05 del Flujo Normal

G1 El actor cancela la operación.

Fin CU

Escenarios

Nombre de escenario	Flujo Inicial	Flujo alternativo	Flujo alternativo
E1- Caracterización de la variabilidad temporal.	Flujo Principal		
E2- El archivo de zonificación no tiene el formato adecuado.	Flujo Principal	4A	Flujo Principal
E3- Faltan parámetros de entrada.	Flujo Principal	7A	Flujo Principal
E4- Formato de parámetro de entrada incorrecto.	Flujo Principal	7B	Flujo Principal

Planilla de Condiciones

Condición	Detalles
C1	Se ingresan todos los parámetros de entrada con un formato correcto. Se selecciona sólo una variable para realizar el diseño. El tipo de red seleccionado es “Tamaño de celdas” y el tamaño seleccionado es menor que el tamaño del archivo ZF seleccionado.
C2	Se ingresan todos los parámetros de entrada con un formato correcto. Se selecciona más de una variable para realizar el diseño. El tipo de red seleccionado es “Tamaño de celdas” y el tamaño seleccionado es menor que

	el tamaño del archivo ZF seleccionado.
C3	Se ingresan todos los parámetros de entrada con un formato correcto. Se selecciona sólo una variable para realizar el diseño. El tipo de red seleccionado es “Tamaño de celdas” y el tamaño seleccionado es mayor o igual que el tamaño del archivo ZF seleccionado.
C4	Se ingresan todos los parámetros de entrada con un formato correcto. Se selecciona más de una variable para realizar el diseño. El tipo de red seleccionado es “Tamaño de celdas” y el tamaño seleccionado es mayor o igual que el tamaño del archivo ZF seleccionado.
C5	Se ingresan todos los parámetros de entrada con un formato correcto. Se selecciona sólo una variable para realizar el diseño. El tipo de red seleccionado es “Cantidad de celdas” y las celdas definidas por el parámetro cantidad son de menor ancho o largo que el tamaño del archivo ZF seleccionado.
C6	Se ingresan todos los parámetros de entrada con un formato correcto. Se selecciona más de una variable para realizar el diseño. El tipo de red seleccionado es “Cantidad de celdas” y las celdas definidas por el parámetro cantidad son de menor ancho o largo que el tamaño del archivo ZF seleccionado.
C7	Se ingresan todos los parámetros de entrada con un formato correcto. Se selecciona sólo una variable para realizar el diseño. El tipo de red seleccionado es “Cantidad de celdas” y las celdas definidas por el parámetro cantidad son de ancho y largo mayor o igual que el tamaño del archivo ZF seleccionado.
C8	Se ingresan todos los parámetros de entrada con un formato correcto. Se selecciona más de una variable para realizar el diseño. El tipo de red seleccionado es “Cantidad de celdas” y las celdas definidas por el parámetro cantidad son de ancho y largo mayor o igual que el tamaño del archivo ZF seleccionado.
C9	Se ingresan todos los parámetros de entrada con un formato correcto. Se selecciona sólo una variable para realizar el diseño y el tipo de red seleccionado es sin generalización.
C10	Se ingresan todos los parámetros de entrada con un formato correcto. Se selecciona más de una variable para realizar el diseño y el tipo de red seleccionado es sin generalización.
C11	No se seleccionaron variables para realizar el diseño
C12	El tipo de red seleccionado es “Cantidad de celdas” y falta completar cantidades de filas y/o columnas.
C13	El tipo de red seleccionado es “Tamaño de celdas” y falta completar cantidades de Alto y/o Ancho.
C14	El parámetro “Ruta destino de capa” no tiene definido un valor.
C15	El tipo de red seleccionado es “Cantidad de celdas” y se ingresa un dato no numérico al parámetro de entrada cantidades de filas y/o columnas.
C16	El tipo de red seleccionado es “Tamaño de celdas” y se ingresa un dato no numérico al parámetro de entrada cantidades de Alto y/o Ancho.
C17	La ruta y/o nombre donde se creara la capa resultante contiene alguno de los

	caracteres prohibidos por Windows para nombres de archivos.
C18	El archivo ZF seleccionado no tiene un formato correcto.

Casos de prueba

Escenario – Condición	Salida Esperada	Casos
E1 - C1	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo “Valor” que representa el promedio de la variable seleccionada en la zona del punto. Al especificar un tamaño de celda menor que la distancia a la que se encuentran los datos de entrada, habrá celdas que no se intersectan con ningún dato, por lo que esas celdas no deberían aparecer en la capa de salida.	D_M_E1-C1
E1 - C2	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo “Valor” que representa el promedio normalizado de las variables seleccionadas en la zona del punto. Al especificar un tamaño de celda menor que la distancia a la que se encuentran los datos de entrada, habrá celdas que no se intersectan con ningún dato, por lo que esas celdas no deberían aparecer en la capa de salida.	D_M_E1-C2
E1 - C3	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo “Valor” que representa el promedio de la variable seleccionada en la zona del punto.	D_M_E1-C3
E1 - C4	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo “Valor” que representa el promedio normalizado de las variables seleccionadas en la zona del punto.	D_M_E1-C4
E1 - C5	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo “Valor”	D_M_E1-C5

	que representa el promedio de la variable seleccionada en la zona del punto. Al especificar un tamaño de celda menor que la distancia a la que se encuentran los datos de entrada, habrá celdas que no se intersectan con ningún dato, por lo que esas celdas no deberían aparecer en la capa de salida.	
E1 – C6	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo “Valor” que representa el promedio normalizado de las variables seleccionadas en la zona del punto. Al especificar un tamaño de celda menor que la distancia a la que se encuentran los datos de entrada, habrá celdas que no se intersectan con ningún dato, por lo que esas celdas no deberían aparecer en la capa de salida.	D_M_E1-C6
E1 – C7	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo “Valor” que representa el promedio de la variable seleccionada en la zona del punto.	D_M_E1-C7
E1 – C8	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo “Valor” que representa el promedio normalizado de las variables seleccionadas en la zona del punto.	D_M_E1-C8
E1 – C9	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo “Valor” que representa el valor de la variable en el punto.	D_M_E1-C9
E1 – C10	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo “Valor” que representa el promedio normalizado de las variables en el punto.	D_M_E1-C10
E3 – C11	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	D_M_E3-C11
E3 – C12	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	D_M_E3-C12

E3 – C13	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	D_M_E3-C13
E3 – C14	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	D_M_E3-C14
E4 – C15	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	D_M_E4-C15
E4 – C16	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	D_M_E4-C16
E4 – C17	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	D_M_E4-C17
E2 – C18	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	D_M_E2-C18

Aclaración: Nomenclatura del caso:

D_M: Diseño de Muestreo

E1-C1: Escenario 1 y Condición 1

13.4.2.3. Optimización de muestreo

El actor selecciona una capa con los posibles puntos de muestreo, método de estimación (IDW), indica el número de muestras (se puede ingresar directamente, o calcularse a partir del parámetro opcional “rango”, que indica la distancia máxima a la cual los puntos mantienen correlación espacial según semivariograma), porcentaje de error de estimación aceptado, opcionalmente puede modificar los parámetros del algoritmo de optimización, además debe ingresar ruta y nombre para la capa resultante.

Flujo Normal:

7. El actor elige el modulo Optimización de muestreo.
8. El sistema despliega la ventana del modulo.
9. El actor selecciona:
 - Capa de muestreo
 - Método de estimación
 - Cantidad de muestras
 - Porcentaje de error de estimación aceptado
 - Ruta donde se creara la capa resultante
 - Nombre para capa resultante
10. El actor confirma selección realizando clic en botón “Aceptar”
11. El sistema finaliza la ejecución y cierra la ventana de trabajo.
12. Fin CU

Flujos Alternativos:

- 4A. Modificación de parámetros del algoritmo de optimización

4A1. El actor modifica los parámetros del algoritmo.

4A2. Ir al punto 04 del Flujo Normal

5A. Faltan parámetros de entrada

5A1. El sistema informa que falta ingresar alguno de los campos.

5A2. Ir al punto 03 del Flujo Normal

5B. Formato de parámetro de entrada incorrecto

5B1. El sistema informa que el formato del parámetro de entrada es incorrecto.

5B2. Ir al punto 03 del Flujo Normal

G1 El actor cancela la operación.

Fin CU

Escenarios

Nombre de escenario	Flujo Inicial	Flujo alternativo	Flujo alternativo
E1-Optimización de muestreo.	Flujo Principal		
E2-Modificación de parámetros del algoritmo de optimización	Flujo Principal	4ª	Flujo Principal
E3-Faltan parámetros de entrada	Flujo Principal	5ª	Flujo Principal
E4-Formato de parámetro de entrada incorrecto	Flujo Principal	5B	Flujo Principal

Planilla de Condiciones

Condición	Detalles
C1	Se selecciona una capa de muestreo y luego se setea el parámetro “Rango” según resultados de análisis en ArcMap para la capa seleccionada. Además se ingresa el valor 0 en el campo “% Error” y los demás parámetros se dejan por defecto.
C2	Se setea el parámetro “Rango” y luego se selecciona una capa de muestreo. Además se ingresa el valor 0 en el campo “% Error” y los demás parámetros se dejan por defecto.
C3	Se selecciona una capa de muestreo y se completa el campo “Nro. de muestras” con un valor mayor a 0. Además se ingresa el valor mayor a 0 en el campo “% Error” y los demás parámetros se dejan por defecto.
C4	Se selecciona una capa de muestreo y se completa el campo “Exponente IDW” según resultados de análisis en ArcMap para la capa seleccionada. Se ingresa el valor 0 en el parámetro “Nro. de muestras”, y un valor mayor a 0 en el campo “% Error” y los demás parámetros se dejan por defecto.

C5	Se selecciona una capa de muestreo, se ingresa un valor mayor a 0 en el parámetro “Nro. de muestras”, y un valor igual a 0 en el campo “% Error” y un valor igual a 5000 en parámetro “Iteraciones”. Los demás parámetros se dejan por defecto.
C6	Se selecciona una capa de muestreo y se completan los campos “Exponente IDW”, “Nro. de muestras” y un valor mayor a 0 en el campo “% Error”. Además se modifican los parámetros por defecto del algoritmo: “Temperatura inicial”, “Factor de reducción” y “Iteraciones” (iteraciones = 20).
C7	Se selecciona una capa de muestreo y se setea el parámetro “% Error” a 0. Además se setea el parámetro “Nro. de muestras” con un valor mayor a la cantidad de puntos de la capa seleccionada.
C8	No se selecciona una capa de muestreo.
C9	No se ingresaron valores para los parámetros “Rango” y “Nro. de muestras”.
C10	No se ingreso valor para el parámetro “% Error”
C11	Se ingresa un dato no numérico en el campo “Exponente”
C12	La ruta y/o nombre donde se creara la capa resultante contiene alguno de los caracteres prohibidos por Windows para nombres de archivos.
C13	Se ingresa un dato no numérico en el campo “Rango”
C14	Se ingresa un dato no numérico en el campo “Nro. de muestras”
C15	Se ingresa un dato no numérico en el campo “% Error”
C16	Se ingresa un dato no numérico en el campo “Temperatura inicial”
C17	Se ingresa un dato no numérico en el campo “Factor de reducción”
C18	Se ingresa un dato no numérico en el campo “Iteraciones”
C19	Se ingresa un dato menor a 1 en el campo “Exponente IDW”
C20	Se ingresa un dato menor o igual a 0 en el campo “Rango”
C21	Se ingresa un dato menor o igual a 0 en el campo “Nro. de muestras”
C22	Se ingresa un dato menor o igual a 0 en el campo “% Error”
C23	Se ingresa un dato menor o igual a 0 en el campo “Temperatura”
C24	Se ingresa un dato menor o igual a 0 en el campo “Iteraciones”
C25	Se ingresa un dato menor o igual a 0 en el campo “Factor de reducción”
C26	Se ingresa un dato mayor a 1 en el campo “Factor de reducción”
C27	Se ingresa un dato mayor a 100 en el campo “Exponente IDW”

Casos de prueba

Escenario – Condición	Salida Esperada	Casos
E1 - C1	El número de muestras es calculado a partir de la capa de entrada y el rango ingresado. El programa finaliza correctamente. Se genera un archivo de resumen de la ejecución en la ruta especificada por el usuario, además de una carpeta que contiene la capa resultado luego de transcurridas la máxima cantidad de iteraciones.	O_M_ E1 - C1
E1 - C2	El número de muestras es calculado a partir de la capa de entrada y el rango ingresado. El programa finaliza correctamente. Se genera un archivo de resumen de la ejecución en la ruta especificada por el usuario, además de una carpeta que contiene la capa resultado luego de transcurridas la máxima cantidad de iteraciones.	O_M_ E1 - C2
E1 - C3	El programa finaliza correctamente. Se genera un archivo de resumen de la ejecución en la ruta especificada por el usuario, además de una carpeta que contiene la capa resultado luego de transcurridas la máxima cantidad de iteraciones.	O_M_ E1 - C3
E4 - C4	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	O_M_ E4 - C4
E2 - C5	El programa finaliza correctamente. Se genera un archivo de resumen de la ejecución en la ruta especificada por el usuario, además de una carpeta que contiene la capa resultado luego de transcurridas la máxima cantidad de iteraciones.	O_M_ E2 - C5
E2 - C6	El programa finaliza correctamente. Se genera un archivo de resumen de la ejecución en la ruta especificada por el usuario, además de una carpeta que contiene la capa resultado luego de transcurridas la máxima cantidad de iteraciones.	O_M_ E2 - C6
E4 - C7	Mensaje de error adecuado, se da una	O_M_ E4 - C7

	nueva opción para ingresar los datos.	
E3 - C8	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	O_M_ E3 - C8
E3 - C9	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	O_M_ E3 - C9
E3 - C10	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	O_M_ E3 - C10
E4 - C11	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	O_M_ E4 - C11
E4 - C12	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	O_M_ E4 - C12
E4 - C13	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	O_M_ E4 - C13
E4 - C14	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	O_M_ E4 - C14
E4 - C15	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	O_M_ E4 - C15
E2 - C16	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	O_M_ E2 - C16
E2 - C17	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	O_M_ E2 - C17
E2 - C18	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	O_M_ E2 - C18
E4 - C19	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	O_M_ E4 - C19
E4 - C20	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	O_M_ E4 - C20
E4 - C21	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	O_M_ E4 - C21
E4 - C22	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	O_M_ E4 - C22
E2 - C23	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	O_M_ E2 - C23
E2 - C24	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	O_M_ E2 - C24
E2 - C25	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	O_M_ E2 - C25
E2 - C26	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	O_M_ E2 - C26
E4 - C27	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	O_M_ E4 - C27

Aclaración: Nomenclatura del caso:

O_M: Diseño de Muestreo

E1-C1: Escenario 1 y Condición 1

13.4.3. Prueba de volumen

Técnica:

Se realizara optimización de muestreo, a campos sin realizar una generalización (agrupación de puntos efectuando un promedio de los mismos para acotar el número de muestras posibles) de puntos previa.

Criterio de aceptación:

Se verificará que el sistema reaccione correctamente.

13.4.4. Requerimientos No funcionales

13.4.4.1. Mantenible

Procedimiento de prueba

Se revisara el código para verificar que está correctamente comentado y que cumple con el estándar de implementación definido (Ver Estándar de implementación_v1.0).

13.4.4.2. Confiabilidad

Procedimiento de prueba

Al menos el 80% de las pruebas finalizan su ejecución de forma correcta sin excepciones.

13.4.4.3. Usabilidad

Procedimiento de prueba

Se deberá contar con ayudas de contexto y tooltips, para mejorar la usabilidad del sistema.

14. Procedimientos de reportes de incidentes.

Para la gestión de incidentes del producto se utiliza una planilla Excel (Gestion de incidentes.xls), en la misma se reportan todos los incidentes encontrados en el producto. Para cada incidente se describe:

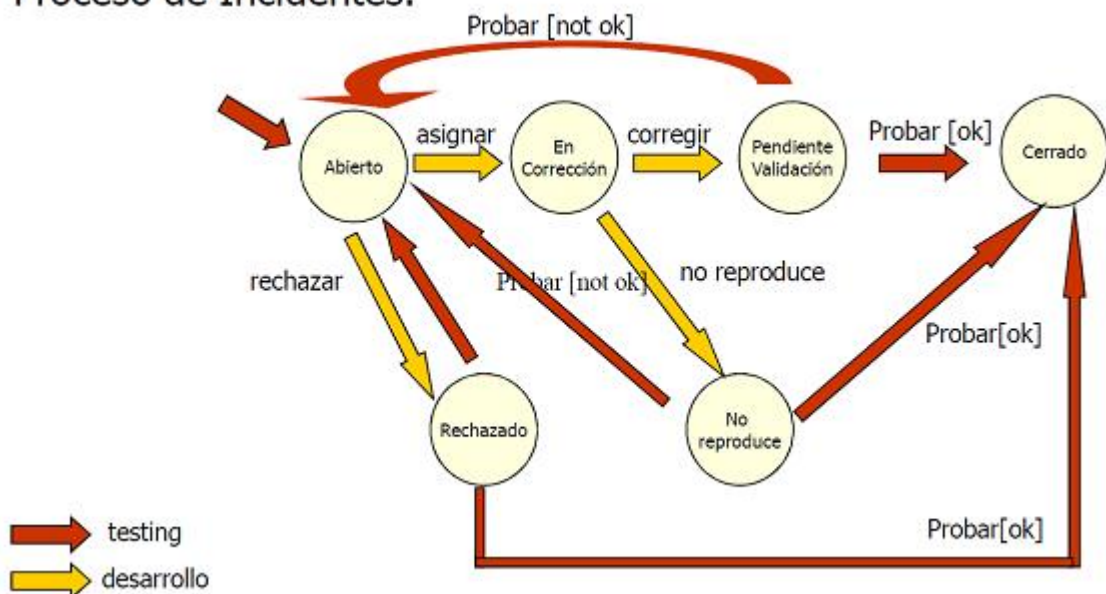
- Severidad identificada del incidente para el producto.
- Estado actual del incidente.
- Fecha en que se reporta el incidente.
- Fecha de cierre del incidente.
- Funcionalidad afectada por el incidente.
- Fase en que se reportó el incidente.
- Revisor.
- Módulo afectado por el incidente.

El sistema de seguimiento de incidentes nos permite:

- Reportar.
- Administrar.
- Analizar los incidentes reportados y la tendencia de los mismos.

A continuación se detalla el proceso de incidentes utilizado, representado mediante una máquina de estados

Proceso de Incidentes:



Fuente: Material teórico, Taller de verificación de software, Fing-UdelaR, 2011

15. Procedimientos de prueba de Documentos

Para los documentos más relevante se realizará una verificación de documentos contemplando las pautas que se detallan a continuación:

15.1. Formato

El formato de los documentos debe ser el siguiente:

- Utilizar plantilla del documento definida en el M.U.M .
- Incluir nombre del proyecto.
- Incluir fecha, versión y responsable del documento.
- Utilizar fuente Times New Roman.
- Utilizar tamaño de letra 12 para estilo normal.
- Utilizar tamaño de letra 14 para los títulos.
- Utilizar viñetas según corresponda.
- Definir pie de página que contenga nombre del documento y número de página.
- Índices sincronizados y actualizados.
- Utilizar corrector ortográfico para mantener los documentos sin faltas ortográficas.
- Justificar los párrafos

Procedimiento de prueba

Leer el documento y verificar que cumple las pautas de formato planteadas en el punto anterior.

15.2. Correctitud

Que cumpla con el formato y organización para el documento establecido en el proyecto

Procedimiento de prueba

Se debe comparar con el estándar definido o con las pautas de documentación y ver que el documento cumple con ellas.

15.3. Entendibilidad

Se debe verificar que al leer el documento se entienda correctamente lo que expresa y sin ambigüedades, además que sea fácil de leer.

Procedimiento de prueba

Se debe comprobar que el documento se entiende correctamente, que no tiene ambigüedades y que sea fácil de leer.

Informe de Verificación del Sistema

Versión 2.3

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
30/04/2013	1.0	Creación del documento	Nicolás Oliveri
03/05/2013	1.1	Actualización de documento	Gonzalo Parente
05/05/2013	1.2	Actualización de documento	Martin Varela
15/05/2013	1.3	Actualización de documento	Martin Varela, Gonzalo Parente
25/05/2013	2.0	Actualización de documento	Nicolás Oliveri
30/05/2013	2.1	Actualización del documento	Martin Varela
05/06/2013	2.2	Actualización del documento	Martin Varela, Gonzalo Parente
09/06/2013	2.3	Actualización del documento	Nicolás Oliveri

Contenido

1. HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN DE MUESTREO VERSIÓN 1.0.....	160
1.1. REQUERIMIENTOS FUNCIONALES	160
1.1.1. <i>Caracterización de la variabilidad temporal</i>	160
1.1.2. <i>Diseño de muestreo</i>	164
1.1.3. <i>Optimización de muestreo</i>	169
2. HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN DE MUESTREO VERSIÓN 2.0.....	175
2.1. REQUERIMIENTOS FUNCIONALES	175
2.1.1. <i>Caracterización de la variabilidad temporal</i>	175
2.1.2. <i>Diseño de muestreo</i>	178
2.1.3. <i>Optimización de muestreo</i>	183
2.2. PRUEBA DE VOLUMEN.....	187
2.3. REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES.....	189
2.3.1. <i>Mantenible</i>	189
2.3.2. <i>Confiabilidad</i>	189
2.3.3. <i>Usabilidad</i>	189
3. MÉTRICAS DE PRUEBAS CUBIERTAS.....	189

16. Herramienta de optimización de muestreo Versión 1.0

Verificadores: Martin Varela, Gonzalo Parente y Nicolás Oliveri.

Subsistemas que lo integran

Submodulos	Versión	Implementador
Caracterización de la variabilidad temporal	1.0	Martin Varela, Gonzalo Parente, Nicolás Oliveri
Diseño de muestreo	1.0	Martin Varela, Gonzalo Parente, Nicolás Oliveri
Optimización de muestreo	1.0	Martin Varela, Gonzalo Parente, Nicolás Oliveri

16.1. Requerimientos Funcionales

Se detallan las funcionalidades del Sistema que se deben verificar:

- Caracterización de la variabilidad temporal.
- Diseño de muestreo.
- Optimización de muestreo.

16.1.1. Caracterización de la variabilidad temporal

Casos de Prueba

Entrada	Salida esperada	Salida obtenida	Nivel de Aceptación
C_V_E1-C1	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa en la ruta seleccionada por el usuario y se muestra en el mapa, que contiene las celdas de salida clasificadas según las variables rendimiento y variabilidad. Al no ingresar las mismas variables en cada capa, el resultado no tendrá ningún significado.	Se cierra la ventana y queda la nueva capa abierta en ArcMap. Además la capa queda correctamente guardada en la ruta especificada.	Aprobado
C_V_E1-C2	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa en la ruta seleccionada por el usuario y se muestra en el mapa, que contiene las celdas de salida clasificadas	Se cierra la ventana y queda la nueva capa abierta en ArcMap. Además la capa queda correctamente guardada en la ruta especificada.	Aprobado

	según las variables rendimiento y variabilidad.		
C_V_E1-C3	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa en la ruta seleccionada por el usuario y se muestra en el mapa, que contiene las celdas de salida clasificadas según las variables rendimiento y variabilidad.	Se cierra la ventana y queda la nueva capa abierta en ArcMap. Además la capa queda correctamente guardada en la ruta especificada.	Aprobado
C_V_E1-C4	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa en la ruta seleccionada por el usuario y se muestra en el mapa, que contiene las celdas de salida clasificadas según las variables rendimiento y variabilidad. Como la capa base no se intercepta con ninguna de las otras seleccionadas, el resultado reflejara sólo la información de la capa base, por lo que no tendrá ningún significado.	Se cierra la ventana y queda la nueva capa abierta en ArcMap. Además la capa queda correctamente guardada en la ruta especificada.	Aprobado con Observaciones
C_V_E2-C5	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	ERROR: Capas a utilizar: Se deben de marcar al menos dos capas	Aprobado
C_V_E2-C6	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	ERROR: Columnas: El valor debe ser entero y mayor que cero.	Aprobado
C_V_E2-C7	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	ERROR: Alto: El valor debe ser entero y mayor que cero.	Aprobado
C_V_E2-C8	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	ERROR: Nivel de estabilidad: Se debe ingresar al menos un valor.	Aprobado
C_V_E2-C9	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	ERROR: Ruta de destino: Ruta inválida donde se guardará la capa de Blackmore.	Aprobado
C_V_E3-C10	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el cuadro de texto pierde el foco, se borra el texto ingresado.	Aprobado
C_V_E3-C11	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para	Cuando el cuadro de texto pierde el foco, se	Aprobado

	ingresar los datos.	borra el texto ingresado.	
C_V_E3-C12	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el cuadro de texto pierde el foco, se borra el texto ingresado.	Aprobado
C_V_E3-C13	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Ocurrió un error al ejecutar la herramienta "Blackmore"	Aprobado con Observaciones

Errores encontrados	Sugerencias de corrección
En el caso de prueba C_V_E1-C4, no se informa al usuario cuando la capa base no se intercepta con ninguna de las demás capas. Nivel de gravedad: Menor	El caso de uso no indica que se le deba informar al usuario, sin embargo, no estaría de más tal información.
En el caso de prueba C_V_E3-C13, se ingresa un nombre de archivo no valido para Windows y se da clic en Aceptar, el sistema informa que ha ocurrido un error pero no da indicios de cuál es el problema. Además, queda deshabilitado el botón de Aceptar para seguir. Nivel de gravedad: Marginal	Informar al usuario que el error está en el nombre de archivo y volver a habilitar el botón de Aceptar para una vez corregido el nombre se siga con el caso de uso.

16.1.2.

Diseño de muestreo**Casos de Prueba**

Entrada	Salida esperada	Salida obtenida	Nivel de Aceptación
D_M_E1-C1	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo "Valor" que representa el promedio de la variable seleccionada en la zona del punto. Al especificar un tamaño de celda menor que la distancia a la que se encuentran los datos de entrada, habrá celdas que no se interceptan con ningún dato, por lo que esas celdas no deberían aparecer en la capa de salida.	Se genera la capa resultado en la ruta especificada y se muestra en el mapa.	Aprobado
D_M_E1-C2	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo "Valor" que representa el promedio normalizado de las variables seleccionadas en la zona del punto. Al especificar un tamaño de celda menor que la distancia a la que se encuentran los datos de entrada, habrá celdas que no se interceptan con ningún dato, por lo que esas celdas no deberían aparecer en la capa de salida.	Error: Se ha producido un error al ejecutar la operación "Crear Muestreo"	No Aprobado
D_M_E1-C3	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de	Se genera la capa resultado en la ruta especificada y se muestra	Aprobado

	zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo “Valor” que representa el promedio de la variable seleccionada en la zona del punto.	en el mapa.	
D_M_E1-C4	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo “Valor” que representa el promedio normalizado de las variables seleccionadas en la zona del punto.	Error: Se ha producido un error al ejecutar la operación "Crear Muestreo"	No Aprobado
D_M_E1-C5	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo “Valor” que representa el promedio de la variable seleccionada en la zona del punto. Al especificar un tamaño de celda menor que la distancia a la que se encuentran los datos de entrada, habrá celdas que no se interceptan con ningún dato, por lo que esas celdas no deberían aparecer en la capa de salida.	Se genera la capa resultado en la ruta especificada y se muestra en el mapa.	Aprobado
D_M_E1-C6	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo “Valor” que representa el promedio normalizado de las variables seleccionadas en la zona del punto. Al	Error: Se ha producido un error al ejecutar la operación "Crear Muestreo"	No Aprobado

	especificar un tamaño de celda menor que la distancia a la que se encuentran los datos de entrada, habrá celdas que no se interceptan con ningún dato, por lo que esas celdas no deberían aparecer en la capa de salida.		
D_M_E1-C7	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo "Valor" que representa el promedio de la variable seleccionada en la zona del punto.	Se genera la capa resultado en la ruta especificada y se muestra en el mapa.	Aprobado
D_M_E1-C8	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo "Valor" que representa el promedio normalizado de las variables seleccionadas en la zona del punto.	Error: Se ha producido un error al ejecutar la operación "Crear Muestreo"	No Aprobado
D_M_E1-C9	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo "Valor" que representa el valor de la variable en el punto.	Se genera la capa resultado en la ruta especificada y se muestra en el mapa.	Aprobado
D_M_E1-C10	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo "Valor" que representa el	Error: Se ha producido un error al ejecutar la operación "Crear Muestreo"	No Aprobado

	promedio normalizado de las variables en el punto.		
D_M_E3-C11	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Mensaje de error adecuado: "ERROR: Variables: Se debe marcar alguna variable."	Aprobado
D_M_E3-C12	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Mensajes de error adecuados: "ERROR: Filas: El valor debe ser entero y mayor que cero." "ERROR: Filas: El valor debe ser entero y mayor que cero."	Aprobado
D_M_E3-C13	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Mensajes de error adecuados: "ERROR: Alto: El valor debe ser entero y mayor que cero." "ERROR: Ancho: El valor debe ser entero y mayor que cero."	Aprobado
D_M_E3-C14	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Mensaje de error adecuado: "ERROR: Capa de Muestreo: Ruta inválida donde se guardará la capa de posibles puntos de muestreo."	Aprobado
D_M_E4-C15	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Al perder el foco si los campos no son enteros se "limpian", por lo que es necesario volver a ingresar los valores	Aprobado
D_M_E4-C16	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Al perder el foco si los campos no son enteros se "limpian", por lo que es necesario volver a ingresar los valores	Aprobado
D_M_E4-C17	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Error de ejecución, mensaje: "Error al crear la capa con los fields OID, Shape, Valor."	Aprobado con Observaciones

D_M_E2-C18	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Error: Se ha producido un error al ejecutar la operación "Crear Muestreo"	Aprobado con Observaciones

Errores encontrados	Sugerencias de corrección
Los casos 2, 4, 6, 8 y 10 terminan con error. Lo que tienen en común es que se utiliza más de una variable para realizar la zonificación. Nivel de gravedad: Crítico	En las líneas 56 y 57 del archivo PuntoZonificacion.cs hay un error de casteo, estas líneas se ejecutan cuando se selecciona más de una variable para realizar la zonificación. Se castea a float cuando se debería castear a double. Modificando eso se debería solucionar el error
En el caso de prueba D_M_E4-C17, se ingresa un nombre de archivo no valido para Windows y se da clic en Aceptar, el sistema informa que ha ocurrido un error pero no da indicios de cuál es el problema. Además, queda deshabilitado el botón de Aceptar para seguir. Nivel de gravedad: Marginal	Informar al usuario que el error está en el nombre de archivo y volver a habilitar el botón de Aceptar para una vez corregido el nombre se siga con el caso de uso.
En el caso de prueba D_M_E2-C18, se selecciona un archivo .ZF con formato incorrecto y se da clic en Aceptar, el sistema informa que ha ocurrido un error pero no da indicios de cuál es el problema. Nivel de gravedad: Marginal	Informar al usuario que el error está en el formato del archivo .ZF

16.1.3. Optimización de muestreo
Casos de Prueba

Entrada	Salida esperada	Salida obtenida	Nivel de Aceptación
O_M_ E1 - C1	El número de muestras es calculado a partir de la capa de entrada y el rango ingresado. El programa finaliza correctamente. Se genera un archivo de resumen de la ejecución en la ruta especificada por el usuario, además de una carpeta que contiene la capa resultado luego de transcurridas la máxima cantidad de iteraciones.	ERROR: No se pudo calcular el área de la capa.	No Aprobado
O_M_ E1 - C2	El número de muestras es calculado a partir de la capa de entrada y el rango ingresado. El programa finaliza correctamente. Se genera un archivo de resumen de la ejecución en la ruta especificada por el usuario, además de una carpeta que contiene la capa resultado luego de transcurridas la máxima cantidad de iteraciones.	ERROR: No se pudo calcular el área de la capa.	No Aprobado
O_M_ E1 - C3	El programa finaliza correctamente. Se genera un archivo de resumen de la ejecución en la ruta especificada por el usuario, además de una carpeta que contiene la capa resultado luego de transcurridas la máxima cantidad de iteraciones.	El sistema finaliza su ejecución, deja las capas generadas abiertas en ArcMap y guardadas en el directorio pasado como parámetro. Además crea un archivo de texto con información de las capas, error e iteraciones. En el archivo de texto refiere al error en decimales y no en formato de porcentaje (%).	Aprobado con Observaciones
O_M_ E4 - C4	Mensaje de error adecuado,	Ocurrió un error al	No

	se da una nueva opción para ingresar los datos.	ejecutar la herramienta “Optimizar muestreo”	Aprobado
O_M_ E2 - C5	El programa finaliza correctamente. Se genera un archivo de resumen de la ejecución en la ruta especificada por el usuario, además de una carpeta que contiene la capa resultado luego de transcurridas la máxima cantidad de iteraciones.	El sistema finaliza su ejecución, deja la capa generada abierta en ArcMap y guardada en el directorio pasado como parámetro. Además crea un archivo de texto con información de las capas, error e iteraciones. En el archivo de texto refiere al error en decimales y no en formato de porcentaje (%).	Aprobado
O_M_ E2 - C6	El programa finaliza correctamente. Se genera un archivo de resumen de la ejecución en la ruta especificada por el usuario, además de una carpeta que contiene la capa resultado luego de transcurridas la máxima cantidad de iteraciones.	El sistema finaliza su ejecución, deja las capas generadas abiertas en ArcMap y guardadas en el directorio pasado como parámetro. Además crea un archivo de texto con información de las capas, error e iteraciones. En el archivo de texto refiere al error en decimales y no en formato de porcentaje (%).	Aprobado con Observaciones
O_M_ E4 - C7	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	El sistema no termina, queda colgado.	No Aprobado
O_M_ E3 - C8	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	ERROR: Capa de muestreo: Debe seleccionar una capa de muestreo.	Aprobado
O_M_ E3 - C9	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	ERROR: Nro. de muestras: Debe indicar un valor entero mayor que 0 para el número de muestras.	Aprobado
O_M_ E3 - C10	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	ERROR: % Error (MAPE): Debe indicar un valor mayor que 0 para el % error.	Aprobado
O_M_ E4 - C11	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el campo pierde el foco, se “limpia” el campo permitiendo ingresar un valor	Aprobado

		únicamente decimal.	
O_M_ E4 - C12	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Ocurrió un error al ejecutar la herramienta "Optimizar muestreo".	Aprobado con Observaciones
O_M_ E4 - C13	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el campo pierde el foco, se "limpia" el campo permitiendo ingresar un valor únicamente decimal.	Aprobado
O_M_ E4 - C14	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el campo pierde el foco, se "limpia" el campo permitiendo ingresar un valor únicamente entero.	Aprobado
O_M_ E4 - C15	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el campo pierde el foco, se "limpia" el campo permitiendo ingresar un valor únicamente decimal.	Aprobado
O_M_ E2 - C16	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el campo pierde el foco, se "limpia" el campo permitiendo ingresar un valor únicamente decimal.	Aprobado
O_M_ E2 - C17	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el campo pierde el foco, se "limpia" el campo permitiendo ingresar un valor únicamente decimal.	Aprobado
O_M_ E2 - C18	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el campo pierde el foco, se "limpia" el campo permitiendo ingresar un valor únicamente entero.	Aprobado
O_M_ E4 - C19	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Ocurrió un error al ejecutar la herramienta "Optimizar muestreo"	Aprobado con Observaciones
O_M_ E4 - C20	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	ERROR: No se pudo calcular el área de la capa.	Aprobado con Observaciones
O_M_ E4 - C21	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Ocurrió un error al ejecutar la herramienta "Optimizar muestreo"	Aprobado con Observaciones

O_M_ E4 - C22	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	El sistema finaliza su ejecución, deja la capa generada abierta en ArcMap y guardada en el directorio pasado como parámetro. Además crea un archivo de texto con información de las capas, error e iteraciones. En el archivo de texto refiere al error en decimales y no en formato de porcentaje (%).	Aprobado con Observaciones
O_M_ E2 - C23	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el campo pierde el foco, se “limpia” el campo permitiendo ingresar un valor únicamente decimal mayor a 0.	Aprobado
O_M_ E2 - C24	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el campo pierde el foco, se “limpia” el campo permitiendo ingresar un valor únicamente entero mayor a 0.	Aprobado
O_M_ E2 - C25	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el campo pierde el foco, se “limpia” el campo permitiendo ingresar un valor únicamente decimal entre 0 y 1.	Aprobado
O_M_ E2 - C26	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el campo pierde el foco, se “limpia” el campo permitiendo ingresar un valor únicamente decimal entre 0 y 1.	Aprobado
O_M_ E4 - C27	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el campo pierde el foco, se “limpia” el campo permitiendo ingresar un valor únicamente decimal entre 1 y 100.	Aprobado

Errores encontrados	Sugerencias de corrección
En los casos de prueba O_M_E1-C2 y O_M_E1-C1, cuando se carga la capa y se quiere calcular el número de	Posiblemente el error esta cuando se calcula el área de la capa.

muestras en base al rango, el sistema devuelve error al calcular el área. Nivel de gravedad: Critico	
En el caso de prueba O_M_E1-C3, en el archivo de texto generado donde se presenta un resumen de la ejecución, se muestra el error en formato decimal y no en porcentaje. Ej. "Error: 0.12345" Nivel de gravedad: Menor	Mostrar los errores con formato de porcentaje. Ej. "Error: 12.35%"
En el caso de prueba O_M_E4-C4, cuando se setea el parámetro "Nro. de muestras" igual a 0 el sistema informa que no se puede ejecutar la operación. Nivel de gravedad: Critico	Validar el parámetro "Nro. de muestras" para que no se permitan valores menores o iguales a 0.
En el caso de prueba O_M_E2-C6, cuando se cambia algunos de los parámetros del algoritmo SSA, no se guardan pues siempre se ejecuta con los parámetros por defecto. Nivel de gravedad: Critico	Al cerrar la ventana de parámetros de SSA, deberían actualizarse los parámetros del SSA para su posterior ejecución.
En el caso de prueba O_M_E4-C7, cuando se ingresa un "Nro. de muestras" mayor a la cantidad de puntos de la capa seleccionada, el sistema queda colgado. Nivel de gravedad: Critico	Chequear este valor e informar al usuario en caso de que el valor sea mayor o igual que la cantidad de puntos de la capa seleccionada.
En el caso de prueba O_M_E4-C12, se ingresa un nombre de archivo no valido para Windows y se da clic en Aceptar, el sistema informa que ha ocurrido un error pero no da indicios de cuál es el problema. Además, queda deshabilitado el botón de Aceptar para seguir. Nivel de gravedad: Marginal	Informar al usuario que el error está en el nombre de archivo y volver a habilitar el botón de Aceptar para una vez corregido el nombre se siga con el caso de uso.
En el caso de prueba O_M_E4-C19, cuando se ingresa el parámetro "Exponente IDW" con un valor menor a 1 el sistema informa que ocurrió un error al ejecutar la operación "Optimizar muestreo" pero no da pistas sobre cuál fue el error. Nivel de gravedad: Menor	Validar el parámetro "Exponente IDW" para que solo se permitan valores mayores o iguales a 1 y menores o iguales a 100.
En el caso de prueba O_M_E4-C20, cuando se ingresa el parámetro "Rango" con un valor menor o igual a 0 el sistema informa que ocurrió un error al calcular el área de la capa seleccionada.	Validar el parámetro "Rango" para que solo se permitan valores mayores a 0.

Nivel de gravedad: Menor	
En el caso de prueba O_M_E4-C21, cuando se ingresa el parámetro “Nro. de muestras” con un valor menor o igual a 0 el sistema informa que ocurrió un error al ejecutar la operación “Optimizar muestreo”.	Validar el parámetro “Nro. de muestras” para que solo se permitan valores mayores a 0.
Nivel de gravedad: Menor	
En el caso de prueba O_M_E4-C22, en el archivo de texto generado donde se presenta un resumen de la ejecución, se muestra el error en formato decimal y no en porcentaje. Ej. “Error: 0.12345”	Mostrar los errores con formato de porcentaje. Ej. “Error: 12.35%”
Nivel de gravedad: Menor	

17. Herramienta de optimización de muestreo Versión 2.0

Verificadores: Martin Varela, Gonzalo Parente y Nicolás Oliveri.

Subsistemas que lo integran

Submodulos	Versión	Implementador
Caracterización de la variabilidad temporal	2.0	Martin Varela, Gonzalo Parente, Nicolás Oliveri
Diseño de muestreo	2.0	Martin Varela, Gonzalo Parente, Nicolás Oliveri
Optimización de muestreo	2.0	Martin Varela, Gonzalo Parente, Nicolás Oliveri

17.1. Requerimientos Funcionales

Se detallan las funcionalidades del Sistema que se deben verificar:

- Caracterización de la variabilidad temporal.
- Diseño de muestreo.
- Optimización de muestreo.

17.1.1. Caracterización de la variabilidad temporal

Casos de Prueba

Entrada	Salida esperada	Salida obtenida	Nivel de Aceptación
C_V_E1-C1	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa en la ruta seleccionada por el usuario y se muestra en el mapa, que contiene las celdas de salida clasificadas según las variables rendimiento y variabilidad. Al no ingresar las mismas variables en cada capa, el resultado no tendrá ningún significado.	Se cierra la ventana y queda la nueva capa abierta en ArcMap. Además la capa queda correctamente guardada en la ruta especificada.	Aprobado
C_V_E1-C2	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa en la ruta seleccionada por el usuario y se muestra en el mapa, que contiene las	Se cierra la ventana y queda la nueva capa abierta en ArcMap. Además la capa queda correctamente guardada	Aprobado

	celdas de salida clasificadas según las variables rendimiento y variabilidad.	en la ruta especificada.	
C_V_E1-C3	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa en la ruta seleccionada por el usuario y se muestra en el mapa, que contiene las celdas de salida clasificadas según las variables rendimiento y variabilidad.	Se cierra la ventana y queda la nueva capa abierta en ArcMap. Además la capa queda correctamente guardada en la ruta especificada.	Aprobado
C_V_E1-C4	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa en la ruta seleccionada por el usuario y se muestra en el mapa, que contiene las celdas de salida clasificadas según las variables rendimiento y variabilidad. Como la capa base no se intercepta con ninguna de las otras seleccionadas, el resultado reflejara sólo la información de la capa base, por lo que no tendrá ningún significado.	Se cierra la ventana y queda la nueva capa abierta en ArcMap. Además la capa queda correctamente guardada en la ruta especificada.	Aprobado con Observaciones
C_V_E2-C5	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	ERROR: Capas a utilizar: Se deben de marcar al menos dos capas	Aprobado
C_V_E2-C6	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	ERROR: Columnas: El valor debe ser entero y mayor que cero.	Aprobado
C_V_E2-C7	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	ERROR: Alto: El valor debe ser entero y mayor que cero.	Aprobado
C_V_E2-C8	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	ERROR: Nivel de estabilidad: Se debe ingresar al menos un valor.	Aprobado
C_V_E2-C9	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	ERROR: Ruta de destino: Ruta inválida donde se guardará la capa de Blackmore.	Aprobado
C_V_E3-C10	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el cuadro de texto pierde el foco, se borra el texto ingresado.	Aprobado
C_V_E3-	Mensaje de error adecuado, se	Cuando el cuadro de	Aprobado

C11	da una nueva opción para ingresar los datos.	texto pierde el foco, se borra el texto ingresado.	
C_V_E3-C12	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el cuadro de texto pierde el foco, se borra el texto ingresado.	Aprobado
C_V_E3-C13	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Ocurrió un error al ejecutar la herramienta "Blackmore" y se deja corregir para continuar con la ejecución.	Aprobado

Errores encontrados	Sugerencias de corrección
En el caso de prueba C_V_E1-C4, no se informa al usuario cuando la capa base no se intercepta con ninguna de las demás capas. Nivel de gravedad: Menor	El caso de uso no indica que se le deba informar al usuario, sin embargo, no estaría de más tal información.

17.1.2.

Diseño de muestreo**Casos de Prueba**

Entrada	Salida esperada	Salida obtenida	Nivel de Aceptación
D_M_E1-C1	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo “Valor” que representa el promedio de la variable seleccionada en la zona del punto. Al especificar un tamaño de celda menor que la distancia a la que se encuentran los datos de entrada, habrá celdas que no se interceptan con ningún dato, por lo que esas celdas no deberían aparecer en la capa de salida.	Se genera la capa resultado en la ruta especificada y se muestra en el mapa.	Aprobado
D_M_E1-C2	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo “Valor” que representa el promedio normalizado de las variables seleccionadas en la zona del punto. Al especificar un tamaño de celda menor que la distancia a la que se encuentran los datos de entrada, habrá celdas que no se interceptan con ningún dato, por lo que esas celdas no deberían aparecer en la capa de salida.	Se genera la capa resultado en la ruta especificada y se muestra en el mapa.	Aprobado
D_M_E1-C3	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de	Se genera la capa resultado en la ruta especificada y se muestra	Aprobado

	zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo “Valor” que representa el promedio de la variable seleccionada en la zona del punto.	en el mapa.	
D_M_E1-C4	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo “Valor” que representa el promedio normalizado de las variables seleccionadas en la zona del punto.	Se genera la capa resultado en la ruta especificada y se muestra en el mapa.	Aprobado
D_M_E1-C5	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo “Valor” que representa el promedio de la variable seleccionada en la zona del punto. Al especificar un tamaño de celda menor que la distancia a la que se encuentran los datos de entrada, habrá celdas que no se interceptan con ningún dato, por lo que esas celdas no deberían aparecer en la capa de salida.	Se genera la capa resultado en la ruta especificada y se muestra en el mapa.	Aprobado
D_M_E1-C6	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo “Valor” que representa el promedio normalizado de las variables seleccionadas en la zona del punto. Al	Se genera la capa resultado en la ruta especificada y se muestra en el mapa.	Aprobado

	especificar un tamaño de celda menor que la distancia a la que se encuentran los datos de entrada, habrá celdas que no se interceptan con ningún dato, por lo que esas celdas no deberían aparecer en la capa de salida.		
D_M_E1-C7	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo “Valor” que representa el promedio de la variable seleccionada en la zona del punto.	Se genera la capa resultado en la ruta especificada y se muestra en el mapa.	Aprobado
D_M_E1-C8	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo “Valor” que representa el promedio normalizado de las variables seleccionadas en la zona del punto.	Se genera la capa resultado en la ruta especificada y se muestra en el mapa.	Aprobado
D_M_E1-C9	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo “Valor” que representa el valor de la variable en el punto.	Se genera la capa resultado en la ruta especificada y se muestra en el mapa.	Aprobado
D_M_E1-C10	El programa finaliza correctamente. Se genera una capa puntos de zonificación en la ruta especificada por el usuario y se muestra en el mapa. La capa tiene un campo “Valor” que representa el	Se genera la capa resultado en la ruta especificada y se muestra en el mapa.	Aprobado

	promedio normalizado de las variables en el punto.		
D_M_E3-C11	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Mensaje de error adecuado: "ERROR: Variables: Se debe marcar alguna variable."	Aprobado
D_M_E3-C12	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Mensajes de error adecuados: "ERROR: Filas: El valor debe ser entero y mayor que cero." "ERROR: Filas: El valor debe ser entero y mayor que cero."	Aprobado
D_M_E3-C13	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Mensajes de error adecuados: "ERROR: Alto: El valor debe ser entero y mayor que cero." "ERROR: Ancho: El valor debe ser entero y mayor que cero."	Aprobado
D_M_E3-C14	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Mensaje de error adecuado: "ERROR: Capa de Muestreo: Ruta inválida donde se guardará la capa de posibles puntos de muestreo."	Aprobado
D_M_E4-C15	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Al perder el foco se "limpia" el campos por lo que es necesario volver a ingresar el valor	Aprobado
D_M_E4-C16	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Al perder el foco se "limpia" el campos por lo que es necesario volver a ingresar el valor	Aprobado
D_M_E4-C17	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Error de ejecución, mensaje: "Error al crear la capa con los fields OID, Shape, Valor."	Aprobado con Observaciones
D_M_E2-C18	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción	Mensaje de error adecuado: "Ha ocurrido	Aprobado

	para ingresar los datos.	un error al leer el archivo .ZF, por favor verifique su contenido."	

Errores encontrados	Sugerencias de corrección
En el caso de prueba D_M_E4-C17, se ingresa un nombre de archivo no valido para Windows y se da clic en Aceptar, el sistema informa que ha ocurrido un error pero no da indicios de cuál es el problema. Nivel de gravedad: Menor	Informar al usuario que el error está en el nombre de archivo y volver a habilitar el botón de Aceptar para una vez corregido el nombre se siga con el caso de uso.

17.1.3. Optimización de muestreo
Casos de Prueba

Entrada	Salida esperada	Salida obtenida	Nivel de Aceptación
O_M_ E1 - C1	El número de muestras es calculado a partir de la capa de entrada y el rango ingresado. El programa finaliza correctamente. Se genera un archivo de resumen de la ejecución en la ruta especificada por el usuario, además de una carpeta que contiene la capa resultado luego de transcurridas la máxima cantidad de iteraciones.	El número de muestras es calculado a partir de la capa de entrada y el rango ingresado. El programa finaliza correctamente. Se genera un archivo de resumen de la ejecución en la ruta especificada por el usuario, además de una carpeta que contiene la capa resultado luego de transcurridas la máxima cantidad de iteraciones.	Aprobado
O_M_ E1 - C2	El número de muestras es calculado a partir de la capa de entrada y el rango ingresado. El programa finaliza correctamente. Se genera un archivo de resumen de la ejecución en la ruta especificada por el usuario, además de una carpeta que contiene la capa resultado luego de transcurridas la máxima cantidad de iteraciones.	El número de muestras es calculado a partir de la capa de entrada y el rango ingresado. El programa finaliza correctamente. Se genera un archivo de resumen de la ejecución en la ruta especificada por el usuario, además de una carpeta que contiene la capa resultado luego de transcurridas la máxima cantidad de iteraciones.	Aprobado
O_M_ E1 - C3	El programa finaliza correctamente. Se genera un archivo de resumen de la ejecución en la ruta especificada por el usuario, además de una carpeta que contiene la capa resultado luego de transcurridas la máxima cantidad de iteraciones.	El programa finaliza correctamente. Se genera un archivo de resumen de la ejecución en la ruta especificada por el usuario, además de una carpeta que contiene la capa resultado luego de transcurridas la máxima cantidad de iteraciones.	Aprobado
O_M_ E4 - C4	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	ERROR: Nro de muestras: Debe indicar un valor entero mayor que 0 para el número de	Aprobado

		muestras.	
O_M_ E2 - C5	El programa finaliza correctamente. Se genera un archivo de resumen de la ejecución en la ruta especificada por el usuario, además de una carpeta que contiene la capa resultado luego de transcurridas la máxima cantidad de iteraciones.	El programa finaliza correctamente. Se genera un archivo de resumen de la ejecución en la ruta especificada por el usuario, además de una carpeta que contiene la capa resultado luego de transcurridas la máxima cantidad de iteraciones.	Aprobado
O_M_ E2 - C6	El programa finaliza correctamente. Se genera un archivo de resumen de la ejecución en la ruta especificada por el usuario, además de una carpeta que contiene la capa resultado luego de transcurridas la máxima cantidad de iteraciones.	El programa finaliza correctamente. Se genera un archivo de resumen de la ejecución en la ruta especificada por el usuario, además de una carpeta que contiene la capa resultado luego de transcurridas la máxima cantidad de iteraciones.	Aprobado
O_M_ E4 - C7	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	ERROR: La cantidad de muestras no puede ser mayor o igual a la cantidad de puntos de la capa (389 puntos).	Aprobado
O_M_ E3 - C8	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	ERROR: Capa de muestreo: Debe seleccionar una capa de muestreo.	Aprobado
O_M_ E3 - C9	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	ERROR: Nro. de muestras: Debe indicar un valor entero mayor que 0 para el número de muestras.	Aprobado
O_M_ E3 - C10	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	ERROR: % Error (MAPE): Debe indicar un valor mayor o igual a 0 para el % error.	Aprobado
O_M_ E4 - C11	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el campo pierde el foco, se “limpia” el campo permitiendo ingresar un valor únicamente decimal.	Aprobado
O_M_ E4 - C12	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	ERROR: Ha ocurrido un error al calcular el número de muestras.	Aprobado
O_M_ E4 - C13	Mensaje de error adecuado,	Cuando el campo pierde	Aprobado

	se da una nueva opción para ingresar los datos.	el foco, se “limpia” el campo permitiendo ingresar un valor únicamente entero mayor que cero.	
O_M_ E4 - C14	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el campo pierde el foco, se “limpia” el campo permitiendo ingresar un valor únicamente entero mayor que tres.	Aprobado
O_M_ E4 - C15	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el campo pierde el foco, se “limpia” el campo permitiendo ingresar un valor únicamente decimal mayor o igual que cero.	Aprobado
O_M_ E2 - C16	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el campo pierde el foco, se "restaura" el valor que tenia previo a recibir el foco.	Aprobado
O_M_ E2 - C17	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el campo pierde el foco, se "restaura" el valor que tenia previo a recibir el foco.	Aprobado
O_M_ E2 - C18	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el campo pierde el foco, se "restaura" el valor que tenia previo a recibir el foco.	Aprobado
O_M_ E4 - C19	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el campo pierde el foco, se “limpia” el campo permitiendo ingresar un valor únicamente decimal mayor o igual que uno.	Aprobado
O_M_ E4 - C20	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el campo pierde el foco, se “limpia” el campo permitiendo ingresar un valor únicamente entero mayor que cero.	Aprobado
O_M_ E4 - C21	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el campo pierde el foco, se “limpia” el campo permitiendo ingresar un valor únicamente entero mayor que tres.	Aprobado
O_M_ E4 - C22	Mensaje de error adecuado,	Cuando el campo pierde	Aprobado

	se da una nueva opción para ingresar los datos.	el foco, se “limpia” el campo permitiendo ingresar un valor únicamente decimal mayor o igual que cero.	
O_M_ E2 - C23	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el campo pierde el foco, se "restaura" el valor que tenia previo a recibir el foco.	Aprobado
O_M_ E2 - C24	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el campo pierde el foco, se "restaura" el valor que tenia previo a recibir el foco.	Aprobado
O_M_ E2 - C25	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el campo pierde el foco, se "restaura" el valor que tenia previo a recibir el foco.	Aprobado
O_M_ E2 - C26	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el campo pierde el foco, se "restaura" el valor que tenia previo a recibir el foco.	Aprobado
O_M_ E4 - C27	Mensaje de error adecuado, se da una nueva opción para ingresar los datos.	Cuando el campo pierde el foco, se “limpia” el campo permitiendo ingresar un valor únicamente decimal mayor o igual que uno.	Aprobado

Errores encontrados	Sugerencias de corrección

17.2. Prueba de Volumen

La prueba que se quería realizar era saber la máxima área de campo sin generalización (agrupación de puntos efectuando un promedio de los mismos para acotar el número de muestras posibles) a la que se le puede aplicar una optimización de muestreo. Como se cuenta con un acotado conjunto de datos para esta prueba, la prueba realizada es la que se describe a continuación. Sobre un mismo campo, se realizó la optimización de muestreo, incrementando la cantidad de puntos de muestreos (hasta llegar al máximo de realizar la optimización sin generalización de puntos), la cantidad de muestras y el número de iteraciones. Luego se analizó el comportamiento de la herramienta al procesar ese gran conjunto de datos.

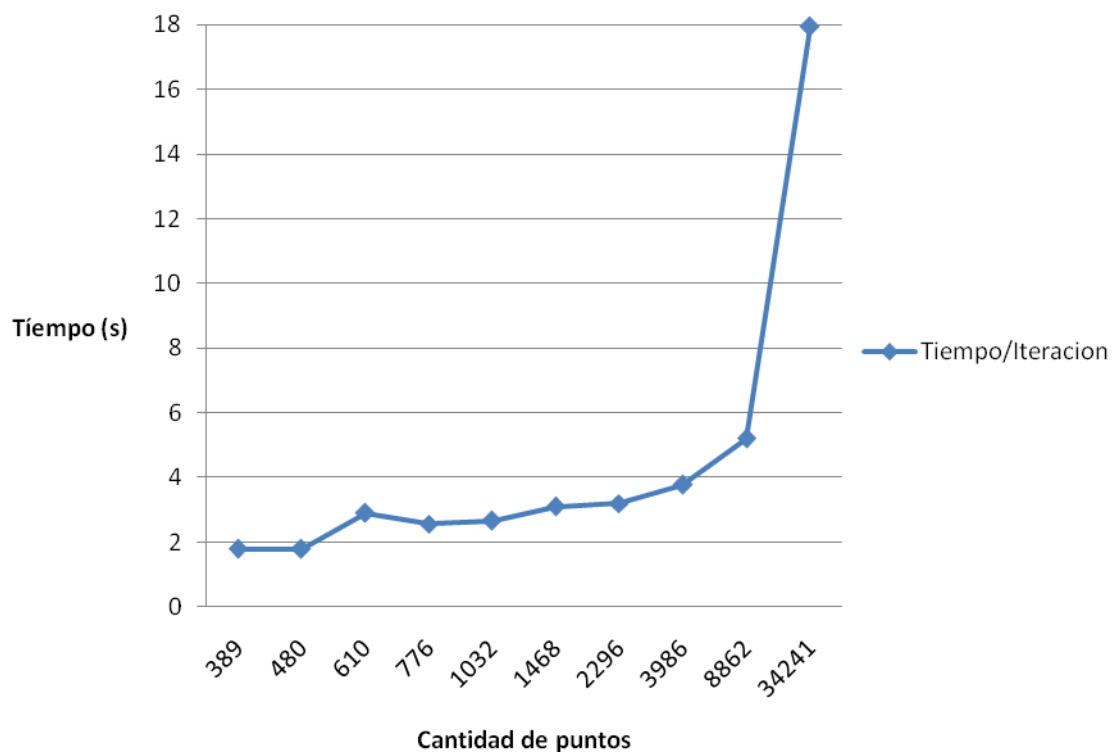
A continuación se presenta una tabla con los valores obtenidos.

Numero de Muestras	Generalización	Cantidad de Puntos	Cantidad de Iteraciones	Tiempo total (segundos)	Tiempo/iteración (segundos)
10	100 m	389	100	334	3.34
100	100 m	389	100	321	3.21
10	100 m	389	1000	2481	2.48
100	100 m	389	1000	2298	2.29
10	50 m	1468	100	311	3.11
100	50 m	1468	100	238	2.38
10	50 m	1468	1000	2334	2.33
100	50 m	1468	1000	2952	2.95
10	No	34241	100	1794	17.94
100	No	34241	100	1549	15.49
10	No	34241	1000	15477	15.47
100	No	34241	1000	13644	13.64

Luego de analizar los datos de la tabla podemos concluir que el tiempo/iteración del algoritmo depende directamente de la cantidad de puntos de la capa de estudio y en menor medida en el número de muestras seleccionado.

Para tener una mejor perspectiva de la relación entre la cantidad de puntos y el tiempo/iteración que emplea el algoritmo, se realizaron un conjunto de pruebas cuyos resultados se pueden ver en la siguiente tabla y grafica.

Numero de Muestras	Generalización	Cantidad de Puntos	Cantidad de Iteraciones	Tiempo total (segundos)	Tiempo/iteración (segundos)
10	100 m	389	100	179	1.79
10	90 m	480	100	180	1.80
10	80 m	610	100	291	2.91
10	70 m	776	100	257	2.57
10	60 m	1032	100	267	2.67
10	50 m	1468	100	311	3.11
10	40 m	2296	100	320	3.20
10	30 m	3986	100	378	3.78
10	20 m	8862	100	520	5.2
10	No (10 m)	34241	100	1794	17.94



Analizando los datos de la tabla podemos concluir que en el entorno de los 4000 puntos el tiempo/iteración del algoritmo es estable estando por debajo de los 4 segundos por iteración.

17.3. Requerimientos No funcionales

17.3.1. Mantenible

Entrada	Salida esperada	Salida obtenida
Código fuente de la herramienta de optimización de muestreo.	Código fuente correctamente comentado, que cumpla con el estándar de implementación definido en el documento Estándar de implementación_v1.0	El código fuente está correctamente comentado y cumple con el estándar de implementación definido en el documento Estándar de implementación_v1.0.

17.3.2. Confiabilidad

Entrada	Salida esperada	Salida obtenida
Ejecución de los casos de prueba definidos.	Al menos el 80% de las pruebas finalizan su ejecución de forma correcta, sin excepciones.	El 100% de las pruebas finalizaron sin excepciones de ejecución.

17.3.3. Usabilidad

Entrada	Salida esperada	Salida obtenida
Interfaces de usuario.	Las interfaces de usuario deben proveer ayudas de contexto y tooltips.	Todas las interfaces de usuario del sistema proveen ayudas de contexto y tooltips.

18. Métricas de pruebas cubiertas

Se realizaron el 100% de las pruebas planificadas, realizando pruebas de regresión con los casos de prueba funcionales previamente definidos, pruebas en los requerimientos no funcionales y pruebas de volumen de datos.

Informe Final de Verificación

Versión 1.0

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
10/06/2013	1.0	Creación del documento	Nicolás Oliveri

Contenido

1. RESUMEN DE LA VERIFICACIÓN	192
1.1. PLANIFICADO VS. REALIZADO	192
1.1.1. Documentos	192
1.1.2. Funcionalidad.....	192
1.1.3. Unitarias.....	192
1.1.4. Prueba de interfaz de usuario	192
1.1.5. Prueba de Volumen	193
1.1.6. Prueba de Instalación.....	196
1.2. CANTIDAD DE ERRORES ENCONTRADOS	196
1.2.1. Pruebas unitarias	196
1.2.2. Versión 1.0.....	196
1.2.2.1. Pruebas del Sistema	196
1.2.3. Versión 2.0.....	197
1.2.3.1. Pruebas del Sistema	197
1.2.4. Casos de Uso testeados	197
1.2.4.1. Caracterización de la variabilidad temporal.....	197
1.2.4.2. Diseño de muestreo	197
1.2.4.3. Optimización de muestreo.....	197
2. EVALUACIÓN	198
2.1. FASE INICIAL	198
2.2. ELABORACIÓN.....	198
2.3. CONSTRUCCIÓN.....	198
2.4. TRANSICIÓN	198
3. LISTA DE ERRORES CONOCIDOS	199

7. Resumen de la verificación

En esta sección se detallan las mediciones sobre las actividades, realizadas por el Responsable de Verificación a lo largo del Proyecto.

18.1. Planificado vs. Realizado

18.1.1. Documentos

A lo largo del proyecto se revisaron documentos en numerosas ocasiones.

Las fechas de revisiones no estaban especificadas en el plan de verificación y validación, pues se fueron realizando a medida que los documentos estaban disponibles. La metodología utilizada fue que si los errores eran de tipo de formato, se modifican y se comunicaban los cambios realizados. En cambio si el incumplimiento involucra mayores cambios, no se modifica, se notifica al responsable del documento, y las modificaciones necesarias se realizaban en forma conjunta. Cabe destacar que los documentos identificados como más críticos para el proyecto tuvieron una revisión técnica formal como se explica en el informe final de SQA. No se cuenta con informes de verificación que expliciten la cantidad de errores detectados en cada documento.

Además se verifico que el manual de usuario fuera correcto, consistente y entendible.

18.1.2. Funcionalidad

Este tipo de prueba se basa en técnicas de caja negra, que consisten en verificar la aplicación y sus procesos interactuando con la aplicación por medio de la interface de usuario y analizar los resultados obtenidos.

Se cumplió con la verificación en su totalidad en lo que respecta a la verificación de las funcionalidades. Para tal motivo se realizaron pruebas unitarias y luego pruebas de sistema. Se diseñaron casos de prueba teniendo en cuenta los casos de uso ya definidos, verificando de esta manera sus distintos escenarios y condiciones. Luego de cada versión liberada se realizaron pruebas de regresión utilizando los casos definidos.

18.1.3. Unitarias

La verificación unitaria fue realizada por cada implementador. No fueron documentadas en detalle, pero los incidentes encontrados al realizar las mismas fueron registrados en el sistema de gestión de incidentes del equipo (Gestión de incidentes.xls).

18.1.4. Prueba de interfaz de usuario

Se verifico que la interfaz siga el estilo de la interfaz de ArcGIS, siguiendo el documento (Pautas para interface de usuario_v1.0).

Además se verifico que la interfaz sea accesible, amigable para el usuario y que cuente con todas las funcionalidades requeridas del producto.

18.1.5. Prueba de Volumen

Las pruebas de volumen someten el software a grandes cantidades de datos para determinar si se alcanzan límites que causen la falla del software. Estas pruebas identifican la carga máxima continua que puede manejar el software a prueba en un período dado. En nuestro caso la prueba que se quería realizar era saber la máxima área de campo sin realizar una generalización (agrupación de puntos efectuando un promedio de los mismos para acotar el número de muestras posibles) al que se le puede realizar una optimización de muestreo. Como se contaba con un acotado conjunto de datos para realizar esta prueba, la misma no fue exhausta, los resultados obtenidos fueron satisfactorios en todas las pruebas.

Además se realizó sobre un mismo campo, la optimización de muestreo, incrementando la cantidad de puntos de muestreos, la cantidad de muestras y el número de iteraciones. Luego se analizó el comportamiento de la herramienta al procesar ese gran conjunto de datos.

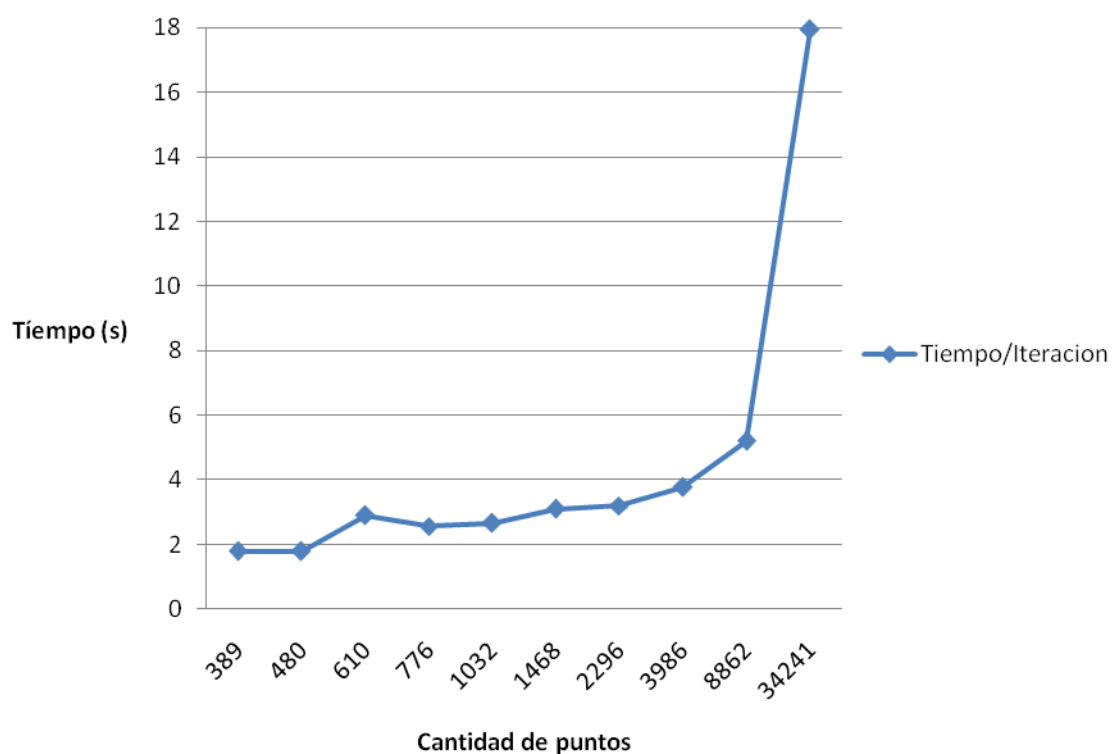
A continuación se presenta una tabla con los valores obtenidos.

Numero de Muestras	Generalización	Cantidad de Puntos	Cantidad de Iteraciones	Tiempo total (segundos)	Tiempo/iteración (segundos)
10	100 m	389	100	334	3.34
100	100 m	389	100	321	3.21
10	100 m	389	1000	2481	2.48
100	100 m	389	1000	2298	2.29
10	50 m	1468	100	311	3.11
100	50 m	1468	100	238	2.38
10	50 m	1468	1000	2334	2.33
100	50 m	1468	1000	2952	2.95
10	No	34241	100	1794	17.94
100	No	34241	100	1549	15.49
10	No	34241	1000	15477	15.47
100	No	34241	1000	13644	13.64

Luego de analizar los datos de la tabla podemos concluir que el tiempo/iteración del algoritmo depende directamente de la cantidad de puntos de la capa de estudio y en menor medida en el número de muestras seleccionado.

Para tener una mejor perspectiva de la relación entre la cantidad de puntos y el tiempo/iteración que emplea el algoritmo, se realizaron un conjunto de pruebas cuyos resultados se pueden ver en la siguiente tabla y grafica.

Numero de Muestras	Generalización	Cantidad de Puntos	Cantidad de Iteraciones	Tiempo total (segundos)	Tiempo/iteración (segundos)
10	100 m	389	100	179	1.79
10	90 m	480	100	180	1.80
10	80 m	610	100	291	2.91
10	70 m	776	100	257	2.57
10	60 m	1032	100	267	2.67
10	50 m	1468	100	311	3.11
10	40 m	2296	100	320	3.20
10	30 m	3986	100	378	3.78
10	20 m	8862	100	520	5.2
10	No (10 m)	34241	100	1794	17.94



Analizando los datos de la tabla podemos concluir que en el entorno de los 4000 puntos el tiempo/iteración del algoritmo es estable estando por debajo de los 4 segundos por iteración.

18.1.6. Prueba de Instalación

Se verifico que el software objeto de prueba se instala correctamente en la versión de ArcGIS definida en el documento de requerimientos (Especificación de requerimientos_v2.1). Esta prueba consistió en instalar en una nueva máquina la versión de ArcGIS especificada en el documento de requerimientos Especificación de requerimientos_v2.1), luego instalar agregar el add-in en el conjunto de herramientas de ArcMap y luego ejecutar un conjunto de pruebas funcionales ya implementadas para la Prueba de Funcionalidad y verificar que su ejecución es la esperada.

18.2. Cantidad de errores encontrados

18.2.1. Pruebas unitarias

	Cantidad de errores encontrados			
Nivel de gravedad de error	Modulo 1	Modulo 2	Modulo 3	Totales
Catastrófico	0	0	0	0
Critico	3	4	4	11
Marginal	1	2	5	8
Menor	3	9	11	23

Cantidad de verificadores: 3

18.2.2. Versión 1.0

18.2.2.1. Pruebas del Sistema

Pruebas sobre CU	Caracterización de la variabilidad temporal	Diseño de muestreo	Optimización de muestreo	Total
Casos planificados	13	18	27	58
Casos Ejecutados	13	18	27	58
Incidentes				
Menor	1	0	5	6
Marginal	1	2	1	4
Critico	0	1	4	5
Catastrófico	0	0	0	0
Total	2	3	10	15

Cantidad de verificadores: 3

18.2.3. Versión 2.0

18.2.3.1. Pruebas del Sistema

Pruebas sobre CU	Caracterización de la variabilidad temporal	Diseño de muestreo	Optimización de muestreo	Total
Casos planificados	13	18	27	58
Casos Ejecutados	13	18	27	58
Incidentes				
Menor	1	1	0	2
Marginal	0	0	0	0
Critico	0	0	0	0
Catastrófico	0	0	0	0
Total	1	1	0	2

Cantidad de verificadores: 3

18.2.4. Casos de Uso testeados

18.2.4.1. Caracterización de la variabilidad temporal

Se genera una capa que representa la caracterización de la variabilidad temporal a partir de capas históricas continuas en el espacio (Ej. Capas de rendimiento).

18.2.4.2. Diseño de muestreo

El actor selecciona el archivo de zonificación de un campo y luego deberá elegir las variables a tener en cuenta para calcular la variabilidad, el tipo de red (por cantidad de celdas o por tamaño de celdas) y además la ruta y el nombre para la capa de muestreo resultante.

18.2.4.3. Optimización de muestreo

Retornar una serie de diseños de muestreo óptimos en formatos de capas de ArcGIS, indicando cantidad de puntos utilizados y localización en el campo de cada punto, para cada una de las capas de salidas.

8. Evaluación

7.1. Fase Inicial

En esta fase se elaboro el plan de verificación y validación del proyecto, además se realizo la verificación de los demás documentos generados.

7.2. Elaboración

En esta fase se verifico el diseño y la arquitectura del sistema. Se realizaron ensayos de implementación utilizando distintas funcionalidades brindadas por la API de ArcGIS para mitigar riesgos técnicos y validar la arquitectura y el diseño de nuestra solución. Se comenzaron a realizar pruebas unitarias a medida que se avanzaba con la implementación del sistema. Además se verificaron los documentos generados en esta fase.

7.3. Construcción

En esta fase se realizaron pruebas unitarias sobre el producto. Se verifico el documento de caso de uso y a partir de él se elaboro el documento de casos de prueba contemplando los distintos escenarios y condiciones posibles en cada caso de uso. Se verificaron las formulas utilizadas de cálculo de error y estimación de variabilidad junto al supervisor y al responsable del proyecto, identificando cambios a realizar en las mismas, además se acordó no implementar kriging como método de estimación, pues las pruebas realizadas en su implementación no eran satisfactorias (problemas para utilizar la API de ArcGIS y tiempos elevados de procesamiento en nuestros ensayos de implementación del método).

Se verificaron las interfaces del producto, evaluándolas según el estándar establecido para su construcción.

Se ejecutaron los casos de prueba elaborados.

7.4. Transición

En esta fase se destino una gran carga horaria a tareas de verificación. La metodología de trabajo fue la siguiente:

- Liberar versión del producto.
- Ejecutar todos los casos de prueba elaborados (pruebas de regresión).
- Identificar y reportar incidentes.
- Evaluar cada incidente y realizar los cambios necesarios para corregirlos.

Este ciclo se realizo dos veces.

Se verifico la conformidad del responsable del proyecto mediante una reunión, en la cual se mostro el producto elaborado junto a un manual de usuario y se le realizo una encuesta de satisfacción.

Las funcionalidades del sistema funcionan correctamente, no se encontraron errores de gravedad.

Nivel de aceptación del sistema se considera **APROBADO**

Se cuenta con una lista de errores conocidos de la versión final del sistema. Estos errores no fueron corregidos porque fueron considerados en particular dos aspectos:

- Los niveles de gravedad de los errores son marginales o menores.
- El tiempo necesario para ejecutar las pruebas de regresión que se deben realizar para asegurar que no se introdujeron nuevas anomalías en el producto al realizar cambios en el mismo.

9. Lista de errores conocidos

A continuación se detalla cada una de las anomalías del producto, junto con su posible solución:

- Si el archivo de zonificación a crear ya existe, reemplazarlo antes pidiendo confirmación al usuario
 - Id de la anomalía: 14.
 - Severidad: Menor.
 - Modulo: Diseño de muestreo.
 - Detalle y posible solución de la misma:

Al seleccionar un nombre y ruta de archivo ya existentes, el sistema no informa al usuario de esto, por lo que al ejecutarse el programa se muestra un mensaje de error “Ha ocurrido un error al crear la capa de red”.

Antes de iniciar la ejecución, se debería comprobar que el nombre de archivo no exista, y en caso de existir se debe desplegar un mensaje de error y permitir al usuario modificarlo.

- La capa de posibles puntos de muestreo tiene puntos fuera de los límites del campo
 - Id de la anomalía: 21.
 - Severidad: Marginal.
 - Modulo: Diseño de muestreo.
 - Detalle y posible solución de la misma:

Este problema fue solucionado para la version de ArcGIS 10.0 (versión con la que se acordó realizar la implementación), mediante la eliminación de los puntos que están fuera del campo luego de realizar la zonificación. El cliente tiene la version 10.1 de ArcGIS, y la solución implementada no funciona en esa versión, ya que da un error de referencia de una funcionalidad utilizada.

Dejar solucionado este error para que la aplicación funcione sólo en la versión 10.0 no tiene sentido, por lo que decidimos dejar los puntos que están fuera del campo para que la aplicación no de error.

- Si se está ejecutando la optimización del muestreo y se cierra la ventana, no se corta la ejecución de la misma.
 - Id de la anomalía: 44.

- o Severidad: Marginal.
- o Modulo: Optimización de muestreo.
- o Detalle y posible solución de la misma:

Mientras está corriendo la optimización, si el usuario presiona el botón Cancelar, se cierra la ventana pero no se corta la ejecución de la optimización. Una posible solución es tener una variable booleana que se setea a true cuando se presiona el botón cancelar. En el bucle de la optimización se controla el valor de la variable, en caso de estar en true, se finaliza la ejecución.

IMPLANTACIÓN

Materiales para Soporte al Usuario

Versión 1.0

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
15/01/2013	1.0	Creación del documento	Gonzalo Parente, Nicolás Oliveri, Martin Varela.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	203
2. MATERIALES DE SOPORTE AL USUARIO	203
2.1. PAUTAS DE INTERFAZ DE USUARIO	203
2.2. AYUDA DE CONTEXTO	203
2.3. MANUAL DE USUARIO	203
2.4. GLOSARIO	203
2.5. REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE	203
3. FORMATO DE ENTREGA	203

1. Introducción

La herramienta de optimización de muestreo para agricultura en un sistema de información geográfico es una aplicación desarrollada para usuarios expertos. Teniendo en cuenta lo antes mencionado, los materiales que se brindaran para proveer soporte a los usuarios son los que se detallan a continuación.

2. Materiales de Soporte al Usuario

El usuario podrá interiorizarse al uso del sistema a través de:

2.1. Pautas de Interfaz de Usuario

La interfaz de usuario es una barra de herramientas conservando el estilo estándar de ArcGIS para facilitar el uso por parte del usuario, la misma contiene las funcionalidades del producto.

2.2. Ayuda de contexto

Se proveerá en todas las interfaces de la herramienta la posibilidad de consultar ayuda de contexto (mediante el botón “Mostrar ayuda >>”). De esta manera se brinda una rápida respuesta a las dudas del usuario, representando la misma de esta manera la principal fuente de ayuda.

2.3. Manual de usuario

El manual de usuario será un documento pdf que indicara las funcionalidades que posee el sistema y una descripción de uso de cada una de ellas. Se utilizarán screenshots, eventualmente con notas agregadas en el lugar adecuado. La finalidad del mismo es proveer la información necesaria para introducir un nuevo usuario en el manejo de la herramienta.

2.4. Glosario

En él se definirán claramente términos que pueden ser triviales en el contexto del sistema, pero para usuarios principiantes o con poca experiencia en el sistema le será de mucha ayuda, pues será un complemento clave para la correcta interpretación del manual de usuario y la ayuda de contexto provista.

2.5. Requerimientos de Software

El manual de usuario contendrá una sección que especificará los requerimientos de hardware y software necesarios para el funcionamiento de la herramienta.

3. Formato de Entrega

Los materiales de soporte serán parte del proyecto, además el manual de usuario será entregado en formato digital e impreso.

Plan de Implantación

Versión 1.0

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
20/05/2013	1.0	Creación del documento	Martin Varela, Nicolás Oliveri, Gonzalo Parente

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	206
1.1. PROPÓSITO	206
1.2. ALCANCE	206
1.3. DEFINICIONES, SIGLAS Y ABREVIATURAS	206
1.4. VISIÓN GENERAL	206
2. PLANIFICACIÓN DE LA IMPLANTACIÓN.....	206
2.1. RESPONSABILIDADES	206
2.2. CRONOGRAMA	206
3. RECURSOS.....	207
3.1. HARDWARE.....	207
3.2. LA UNIDAD A LIBERAR	207
3.3.1. <i>Software de apoyo</i>	207
3.3.2. <i>Documentación de apoyo</i>	207

1. Introducción

Este documento detalla el plan de implantación del producto que se está desarrollando, en el se incluye información sobre recursos necesarios, documentación a entregar y como se realizara su puesta en producción.

1.1. Propósito

En el contexto de la producción agrícola, se desarrollo una herramienta de optimización de muestreo que caracteriza la variabilidad temporal de la productividad de los sucesivos cultivos (basado en la textura de las imágenes de productividad y/o mapas de rendimiento provenientes de monitores de cosecha) y determina el número y localización óptimos para el muestreo de nutrientes.

Esta herramienta se acopla a un sistema de información geográfico de manejo agrícola ya existente

1.2. Alcance

Este documento será entregado al supervisor del proyecto Omar Viera y al responsable del proyecto Mercedes Berterretche. Además, es de utilidad al equipo del proyecto para planificar las tareas y actividades a realizar para implantar el producto.

1.3. Definiciones, siglas y abreviaturas

Referirse al glosario del proyecto.

1.4. Visión general

En el resto del documento se presentará la planificación de la implantación, así como los recursos (software y/o hardware) necesarios para llevar a cabo la misma.

2. Planificación de la Implantación

2.1. Responsabilidades

El cliente tiene la responsabilidad de proporcionar los recursos de hardware y software adecuados para poder instalar y ejecutar las diferentes funcionalidades de la aplicación, como así también proveer datos para realizar las pruebas del producto.

El equipo de desarrollo tiene como responsabilidad de entregar al cliente un producto que cumpla los requerimientos establecidos, e instalar el mismo en la infraestructura brindada por el cliente. Además entregar la documentación que respalda la construcción del sistema.

2.2. Cronograma

Para la implantación del producto se realizo la siguiente planificación de actividades:

- Planificar la Implantación:
 - ✓ Desde el 13/05/2013 al 15/05/2013
- Desarrollar el material para soporte al usuario:
 - ✓ Desde el 01/06/2013 al 12/06/2013
- Realizar la presentación del sistema al cliente:
 - ✓ 12/06/2013
- Verificación en ambiente de desarrollo:
 - ✓ Desde el 13/05/2013 al 07/06/2013
- Producir la versión “Beta” del producto:
 - ✓ 13/05/2013
- Verificación en ambiente del usuario:
 - ✓ 12/06/2013
- Producir la versión “Final” del producto
 - ✓ 07/06/2013

3. Recursos

3.1. Hardware

Se necesitaran equipos que cumplan los requisitos necesarios para ArcGIS 10.0 (ver <http://resources.arcgis.com/es/content/arcgisdesktop/10.0/arcgis-desktop-system-requirements#ArcGISDesktop-HardwareRequirements>).

3.2. La unidad a liberar

Los artefactos que serán entregados al cliente son los siguientes:

- ✓ ESRI AddIn File: es el objeto generado a partir del código fuente, necesario para la instalación del add-in.
- ✓ Documentación que se desarrollo a lo largo del proyecto

6.3.1. Software de apoyo

El software de apoyo necesario se especifica en el siguiente link <http://resources.arcgis.com/es/content/arcgisdesktop/10.0/arcgis-desktop-system-requirements#ArcGISDesktop-HardwareRequirements>

6.3.2. Documentación de apoyo

La documentación de apoyo del producto que se liberara es:

- Descripción de la arquitectura
- Modelo de diseño
- Informe de verificación del sistema
- Manual de usuario

GESTIÓN DE PROYECTO

Plan de Proyecto

Versión 2.0

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
22/08/2012	1.0	Creación del documento	Martin Varela, Gonzalo Parente, Nicolás Oliveri.
05/09/2012	1.1	Ajustes del documento	Martin Varela, Gonzalo Parente, Nicolás Oliveri.
26/11/2012	2.0	Ajustes del documento	Nicolás Oliveri.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	210
1.1. ALCANCE DEL PROYECTO	210
1.2. ENTREGABLES DEL PROYECTO	210
1.3. ESTRATEGIA DE EVOLUCIÓN DEL PLAN	210
2. ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO	210
2.1. MODELO DE PROCESO	210
2.2. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	211
2.3. INTERFACES E INTERACCIONES	211
3. PROCESO DE GESTIÓN	211
3.1. OBJETIVOS Y PRIORIDADES DE GESTIÓN	211
3.2. CONDICIONES ASUMIDAS, DEPENDENCIAS Y RESTRICCIONES	211
3.3. GESTIÓN DE RIESGOS	211
3.3.1. <i>Mecanismos para Verificación</i>	211
3.3.2. <i>Mecanismos para la Gestión de proyecto</i>	211
4. PROCESO TÉCNICO.....	212
4.1. PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS, HERRAMIENTAS Y TECNOLOGÍAS	212
4.2. DOCUMENTACIÓN DE SOFTWARE	212
5. LÍNEAS DE TRABAJO, DISTRIBUCIÓN DE RECURSOS HUMANOS Y CRONOGRAMA	212
5.1. LÍNEAS DE TRABAJO	212
5.2. DEPENDENCIAS	213
5.3. CRONOGRAMA	213

1. Introducción

Esta sección contiene una visión general del proyecto y el producto a desarrollar, una lista de los entregables del proyecto y la estrategia de evolución del Plan.

1.1. Alcance del Proyecto

El proyecto consta del desarrollo de una herramienta de optimización de muestreo, que caracterice la variabilidad temporal y espacial de la productividad de diferentes cultivos agrícolas, determinando el número y localización óptimos para el muestreo de nutrientes. La herramienta debe integrarse al sistema de información geográfica ArcGIS.

1.2. Entregables del Proyecto

Nombre entregable	Fecha de entrega	Condiciones satisfacción
Especificación de requerimientos	21/08/2012	Validado junto con el cliente
Alcance del sistema	08/12/2012	Validado junto con el cliente
Informe final de proyecto	Finalizado el proyecto	N/A
Informe final de verificación	Finalizado el proyecto	N/A
Producto final	Finalizado el proyecto	Validado junto con el cliente
Manual de usuario	Finalizado el proyecto	Validado junto con el cliente

1.3. Estrategia de evolución del Plan

La responsabilidad de monitorear y actualizar el plan de proyecto queda a cargo de los estudiantes. Culminadas cada una de las fases del proyecto (análisis, diseño, implementación y verificación) se realizarán ajustes, en caso de ser necesarios, de acuerdo al avance del proyecto y las proyecciones realizadas.

Los cambios pueden surgir tanto por parte de los tutores como de los estudiantes y en ambas situaciones se evaluarán de forma conjunta.

2. Organización del Proyecto

2.1. Modelo de Proceso

En la sección 5.3 se presenta un diagrama de Gantt. El proceso se divide en cuatro etapas principales, cada una con sus correspondientes actividades (las críticas se resaltan en **negrita**).

2.2. Estructura Organizacional

En la organización del equipo de trabajo, no se asignan roles específicos a cada integrante del grupo. La causa principal de esta decisión es el reducido número de personas y el alto involucramiento que debe tener cada uno en las diferentes áreas del proyecto, para una mejor comprensión del mismo, dado que el área de estudio es desconocida.

2.3. Interfaces e Interacciones

En esta sección se describen los procedimientos administrativos y de gestión entre el proyecto y el Cliente.

Actividad	Procedimiento	Responsable	Involucrados
Comunicación con el Cliente	La comunicación se realiza a través de e-mail o reuniones pactadas oportunamente.	Todos los integrantes	Todos los integrantes

3. Proceso de Gestión

3.1. Objetivos y Prioridades de Gestión

Dentro de los objetivos principales para la gestión del proyecto apuntamos a mantener la comunicación clara y sin ambigüedades con el cliente, para evitar posibles malos entendimientos. Buscamos poder llevar a cabo un proceso organizado y de alta calidad.

3.2. Condiciones asumidas, dependencias y restricciones

El alcance del sistema será negociado en base a que, es un proyecto de grado y el grupo está conformado por tres integrantes, cubriendo ciertos riesgos identificados en el documento de riesgos.

3.3. Gestión de Riesgos

Ver documento de riesgos.

3.3.1. Mecanismos para Verificación

Ver plan de verificación y validación.

3.3.2. Mecanismos para la Gestión de proyecto

Se realizarán revisiones en reuniones de equipo planificadas pertinentemente en forma conjunta por partes de los tres integrantes, de modo de monitorear y ajustar las actividades planificadas.

4. Proceso técnico

4.1. Procedimientos técnicos, herramientas y tecnologías

Herramientas Utilizadas:

Sistema Operativo: Windows 7, 64bits.

Lenguaje de programación: C# (C-Sharp)

Entorno de desarrollo:

- Visual Studio 2010 Ultimate con framework 3.5
- ArcObjects SDK for the Microsoft .NET Framework
- ArcGIS Desktop 10

4.2. Documentación de software

La documentación se realizará de acuerdo a las plantillas de documentos definidas en el Modelo de Proceso del curso Proyecto de Ingeniería de Software.

5. Líneas de trabajo, distribución de recursos humanos y cronograma

5.1. Líneas de trabajo

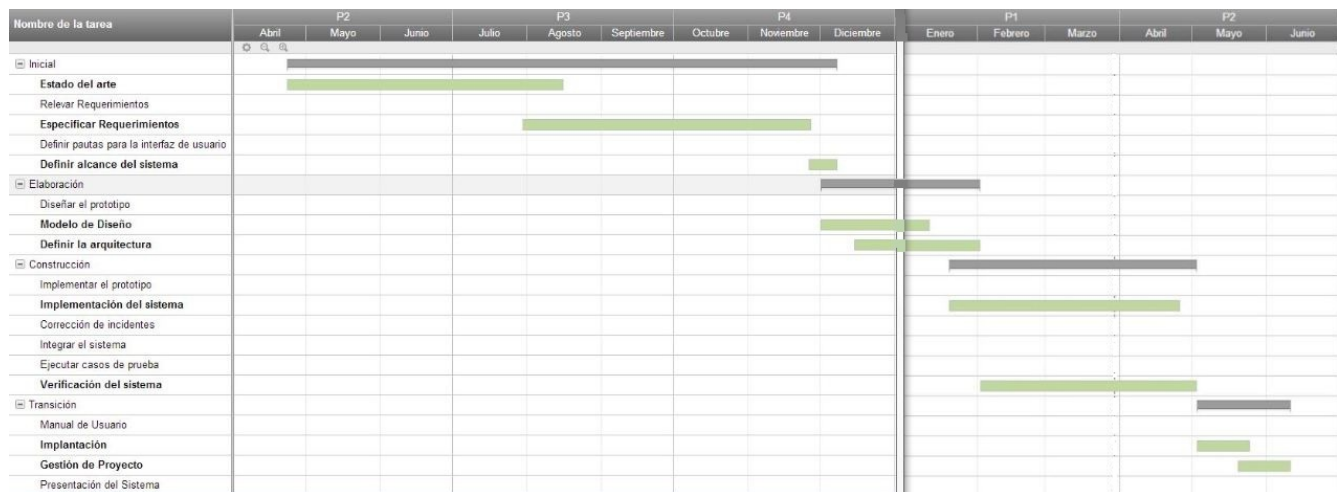
Línea de trabajo	Actividades correspondientes
Estado del arte	Investigación de las diferentes áreas descritas en el documento del estado del arte
Análisis	Relevar Requerimientos
	Especificación de Requerimientos
	Definir pautas para la interfaz de usuario
	Definir el alcance del sistema
	Definir el modelo de dominio
Diseño	Diseño del sistema
	Definir la arquitectura
	Diseñar el prototipo
Implementación	Implementar el prototipo
	Implementar el sistema
	Corregir la Implementación
	Integrar el Sistema
	Verificación Unitaria de Módulo
Verificación	Planificar la Verificación
	Especificar los Casos de Prueba
	Ejecutar las Pruebas del Sistema

	Realizar el Informe Final de Verificación
Transición	Manual de usuario
	Elaborar la Presentación del Sistema

5.2. Dependencias

Ver sección 5.3.

5.3. Cronograma



Descripción del Proyecto

Versión 1.1

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
02/07/2012	1.0	Creación del documento	Martin Varela, Nicolás Oliveri, Gonzalo Parente
10/07/2012	1.1	Revisión del documento	Martin Varela, Nicolás Oliveri, Gonzalo Parente

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	216
1.1. PROPÓSITO	216
1.2. GENERALIDADES.....	216
1.3. OBJETIVOS	216
2. PRODUCTO.....	216
2.1. DOMINIO DEL NEGOCIO.....	216
2.2. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	216
2.3. ENTREGABLES.....	216
3. RESTRICCIONES	217
3.1. PREMISAS	217
3.2. SUPUESTOS.....	217

3. Introducción

3.1. Propósito

El propósito de este documento es obtener una descripción del proyecto y el producto a realizar. Permite tener un insumo para realizar las planificaciones detalladas de Plan de Proyecto, Gestión de Riesgos, Especificación de Requerimientos, entre otros.

3.2. Generalidades

- Nombre del Proyecto: Implementación de herramienta de optimización de muestreo para agricultura en un sistema de información geográfica.
- Fecha de Comienzo: 20/04/2012
- Partes interesadas
 - o Cliente: Mercedes Berterretche.
 - o Usuarios finales: Mercedes Berterretche.
 - o Director del Proyecto: Omar Viera.
- Modelo de Procesos utilizado: Modelos de Proceso Modularizado Unificado y Medible (adaptado a nuestras necesidades para este proyecto)

3.3. Objetivos

En el contexto de la producción agrícola, se desea desarrollar una herramienta de optimización de muestreo que caracterice la variabilidad temporal de la productividad de los sucesivos cultivos (basado en la textura de las imágenes de productividad y/o mapas de rendimiento provenientes de monitores de cosecha) y determine el número y localización óptimos para el muestreo de nutrientes.

La herramienta debe acoplarse a un sistema de información geográfico de manejo agrícola ya existente.

4. Producto

4.1. Dominio del Negocio

En el contexto de la producción agrícola, determine el número y localización óptimos para el muestreo de nutrientes.

4.2. Descripción del Producto

La herramienta debe acoplarse a un sistema de información geográfico de manejo agrícola ya existente.

4.3. Entregables

A continuación se lista los principales entregables identificados:

- Estado del arte.
- Especificación de requerimientos.
- Alcance del sistema.
- Plan de verificación y validación.
- Plan de proyecto.
- Documento de riesgos.
- Modelo de diseño

- Descripción de la arquitectura.
- Informe final de proyecto.
- Informe final de verificación.
- Manual de usuario.
- Herramienta de optimización de muestro.
- Presentación del proyecto.

5. Restricciones

5.1. Premisas

La fecha prevista de finalización del proyecto es diciembre 2012, sin embargo existe la posibilidad de extenderlo mediante la solicitud de una prórroga hasta el mes de marzo 2013.

ArcGIS provee SDK para los siguientes lenguajes:

- Visual Basic para aplicaciones.
- Microsoft .NET framework.
- Plataforma Java.

5.2. Supuestos

Se tendrán las siguientes asunciones de carácter previo al inicio del proyecto:

- Se contara con la licencia necesaria para desarrollar el producto.
- Buena comunicación con el cliente.
- Disponibilidad del tutor y el cliente para definir requerimientos, criterios de aceptación, alcance del sistema y evacuar dudas.

Documento de Riesgos

Versión 1.0

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
27/09/2012	1.0	Creación del documento	Gonzalo Parente, Nicolás Oliveri, Martin Varela.

Contenido

1. LISTA DE RIESGOS IDENTIFICADOS	221
1.1. LICENCIA DE ARCGIS 10	221
1.1.1. <i>Ranking</i>	221
1.1.2. <i>Descripción</i>	221
1.1.3. <i>Probabilidad de ocurrencia</i>	221
1.1.4. <i>Impacto</i>	221
1.1.5. <i>Estrategia de Mitigación</i>	221
1.1.6. <i>Monitoreo</i>	221
1.1.7. <i>Plan de Contingencia</i>	221
1.2. IMPLEMENTACIÓN EN ARCGIS.....	221
1.2.1. <i>Ranking</i>	221
1.2.2. <i>Descripción</i>	221
1.2.3. <i>Probabilidad de ocurrencia</i>	221
1.2.4. <i>Impacto</i>	222
1.2.5. <i>Estrategia de Mitigación</i>	222
1.2.6. <i>Monitoreo</i>	222
1.2.7. <i>Plan de Contingencia</i>	222
1.3. NO ENTENDER LOS REQUERIMIENTOS.....	222
1.3.1. <i>Ranking</i>	222
1.3.2. <i>Descripción</i>	222
1.3.3. <i>Probabilidad de ocurrencia</i>	222
1.3.4. <i>Impacto</i>	222
1.3.5. <i>Estrategia de Mitigación</i>	222
1.3.6. <i>Monitoreo</i>	223
1.3.7. <i>Plan de Contingencia</i>	223
1.4. CAMBIOS EN LOS REQUERIMIENTOS	223
1.4.1. <i>Ranking</i>	223
1.4.2. <i>Descripción</i>	223
1.4.3. <i>Probabilidad de ocurrencia</i>	223
1.4.4. <i>Impacto</i>	223
1.4.5. <i>Estrategia de Mitigación</i>	223
1.4.6. <i>Monitoreo</i>	223
1.4.7. <i>Plan de Contingencia</i>	223
1.5. AUSENCIA DE INTEGRANTES.....	224
1.5.1. <i>Ranking</i>	224
1.5.2. <i>Descripción</i>	224
1.5.3. <i>Probabilidad de ocurrencia</i>	224
1.5.4. <i>Impacto</i>	224
1.5.5. <i>Estrategia de Mitigación</i>	224
1.5.6. <i>Monitoreo</i>	224
1.5.7. <i>Plan de Contingencia</i>	224
1.6. PROBLEMAS EN LA PLANIFICACIÓN	225
1.6.1. <i>Ranking</i>	225
1.6.2. <i>Descripción</i>	225
1.6.3. <i>Probabilidad de ocurrencia</i>	225
1.6.4. <i>Impacto</i>	225
1.6.5. <i>Estrategia de Mitigación</i>	225
1.6.6. <i>Monitoreo</i>	225

1.6.7.	<i>Plan de Contingencia</i>	225
1.7.	DISCONFORMIDAD DEL CLIENTE.....	225
1.7.1.	<i>Ranking</i>	225
1.7.2.	<i>Descripción</i>	225
1.7.3.	<i>Probabilidad de ocurrencia</i>	226
1.7.4.	<i>Impacto</i>	226
1.7.5.	<i>Estrategia de Mitigación</i>	226
1.7.6.	<i>Monitoreo</i>	226
1.7.7.	<i>Plan de Contingencia</i>	226
1.8.	PLAZO DE ENTREGA.....	226
1.8.1.	<i>Ranking</i>	226
1.8.2.	<i>Descripción</i>	226
1.8.3.	<i>Probabilidad de ocurrencia</i>	226
1.8.4.	<i>Impacto</i>	226
1.8.5.	<i>Estrategia de Mitigación</i>	226
1.8.6.	<i>Monitoreo</i>	226
1.8.7.	<i>Plan de Contingencia</i>	227
1.9.	DISPONIBILIDAD DEL CLIENTE.....	227
1.9.1.	<i>Ranking</i>	227
1.9.2.	<i>Descripción</i>	227
1.9.3.	<i>Probabilidad de ocurrencia</i>	227
1.9.4.	<i>Impacto</i>	227
1.9.5.	<i>Estrategia de Mitigación</i>	227
1.9.6.	<i>Monitoreo</i>	227
1.9.7.	<i>Plan de Contingencia</i>	227

22. Lista de Riesgos identificados

22.1. Licencia de ArcGIS 10

1.1.1. Ranking

Muy grave.

1.1.2. Descripción

Las licencias provistas por la empresa ICA son validas por un lapso de 60 días. Por tal motivo se deberán renovar en más de una ocasión.

1.1.3. Probabilidad de ocurrencia

Alta.

1.1.4. Impacto

Muy alto. No contar con licencia, impide realizar las tareas de implementación.

1.1.5. Estrategia de Mitigación

Confirmar que las licencias de evaluación puedan ser renovadas, de lo contrario, plantear este inconveniente al cliente para que nos brinde una solución. En caso de que puedan ser renovadas, anticipar las fechas de expiración, para solicitar nuevas claves de activación.

1.1.6. Monitoreo

Se cargaran las fechas de expiración de las licencias en un calendario compartido por el grupo, de este modo obtendremos alertas en los momentos necesarios.

1.1.7. Plan de Contingencia

En caso de que a un integrante del grupo se le haya vencido la licencia de la herramienta, se le asignaran tareas que no requieran de la misma, por ejemplo documentación. Además se deberá solicitar una nueva licencia de manera urgente.

22.2. Implementación en ArcGIS

1.2.1. Ranking

Muy grave.

1.2.2. Descripción

El desconocimiento por parte del grupo de la herramienta ArcGIS, provoca dedicar elevadas horas de esfuerzo al aprendizaje de esta tecnología.

1.2.3. Probabilidad de ocurrencia

Alto.

1.2.4. Impacto

Muy alto. El tiempo empleado en la curva de aprendizaje de la tecnología, puede ocasionar retrasos en las planificaciones del proyecto.

1.2.5. Estrategia de Mitigación

Cada integrante del grupo, instalo la herramienta ArcGIS en su PC personal, antes de contar con las licencias provistas por ICA. Este paso fue ideado con el fin de intercalar el tiempo empleado en la realización del estado del arte, junto con el tiempo necesario de aprendizaje de la herramienta. Para poder llevar a cabo este plan, se dedico tiempo a investigar la página de ESRI, buscando la viabilidad del mismo y los requisitos necesarios para las solicitudes de licencias pertinentes.

Por otro lado, se solicitara un contacto de la empresa ICA, que cuente con conocimientos sólidos en la herramienta, para acudir con dudas puntuales de la herramienta y/o programación de la misma.

1.2.6. Monitoreo

Se deberá llevar un control exhausto del esfuerzo empleado en cada una de las funciones implementadas, para así poder realizar estimaciones que ayudaran a visualizar el avance en la mitigación de este riesgo.

1.2.7. Plan de Contingencia

Dedicar más horas en investigación de la herramienta. Solicitar de manera más continua el apoyo de una persona idónea en la herramienta.

22.3. No entender los requerimientos

1.3.1. Ranking

Muy grave.

1.3.2. Descripción

No entender los requerimientos planteados por el cliente, conduciría el proyecto al fracaso, pues se construiría un sistema que no es el requerido.

1.3.3. Probabilidad de ocurrencia

Alta.

1.3.4. Impacto

Muy alto.

1.3.5. Estrategia de Mitigación

Discutir en forma grupal luego de cada reunión con el cliente, los temas tratados en la misma, de manera de verificar el entendimiento de los mismos. Completar el acta de cada reunión, con un breve resumen de los temas tratados, para que en el caso de que se haya entendido algo de manera incorrecta, sea corregido en el feedback del acta, por parte del cliente.

Realizar una reunión con el cliente para validar los requerimientos.

1.3.6. Monitoreo

Validación de los documentos de requerimientos por parte del cliente.

1.3.7. Plan de Contingencia

Planificar una reunión con el cliente para despejar dudas de los requerimientos necesarios.

22.4. Cambios en los requerimientos

1.4.1. Ranking

Grave.

1.4.2. Descripción

El cliente propone realizar cambios en los requerimientos. Este tipo de escenarios, provoca diversos problemas, como por ejemplo: atrasos de tiempos en la planificación e impactos en el alcance del proyecto.

1.4.3. Probabilidad de ocurrencia

Medio.

1.4.4. Impacto

Muy alto.

1.4.5. Estrategia de Mitigación

Para cada uno de los requerimientos, identificar posibles situaciones de uso del cliente, complicaciones asociadas, solución propuesta por nosotros a cada una de ellas, buscando tomar decisiones al respecto en el inicio del proyecto.

Además, es de gran importancia entregar los documentos de requerimientos al cliente y obtener la validación de los mismos.

1.4.6. Monitoreo

Cuando el cliente lo crea necesario, aunque es preferible que sea en la etapa de análisis del proyecto.

1.4.7. Plan de Contingencia

Si es un requerimiento de baja importancia, se intentara negociar para que no sea tomado en cuenta en el sistema que se está construyendo. Por otro lado, si el requerimiento es de gran importancia, habrá que planificar nuevamente, siendo factible renegociar el alcance del sistema.

22.5. Ausencia de integrantes

1.5.1. Ranking

Medio.

1.5.2. Descripción

Debido a que los integrantes del grupo tienen pendiente exámenes y/o cursos en facultad, es necesario considerar periodos de parciales, entregas y exámenes de determinadas asignaturas, como un factor que incidirá en los recursos disponibles para el proyecto.

Además se deberá tener en cuenta, otros factores tales como: vacaciones, viajes por trabajo, problemas de salud. Pues al ser un grupo conformado por tres personas, la indisposición de uno o más integrantes, obligaría a realizar cambios en la planificación.

1.5.3. Probabilidad de ocurrencia

Alta.

1.5.4. Impacto

Medio.

1.5.5. Estrategia de Mitigación

Consideramos que la mayor parte de los factores implicados de este riesgo, se pueden prever con anticipación mediante calendarios conocidos (calendario perpetuo, calendario de licencias en cada trabajo). Sin embargo hay otros factores que pueden surgir de imprevistos, tales como problemas de salud y viajes por trabajo. Para reducir el impacto de estos últimos, realizaremos revisiones de tareas, en lo posible semanalmente, en las cuales plantearemos los detalles y problemas de cada una de las tareas realizadas por cada integrante, de esta manera se tendrá una visión global, con el fin de bajar el impacto que provocaría en el proyecto, tener que reasignar las tareas de un integrante.

1.5.6. Monitoreo

Como fue mencionado en el punto anterior, la mayor parte de los factores implicados en este riesgo, se pueden monitorear mediante calendario, los restantes se plantearán en las revisiones semanales de tareas.

1.5.7. Plan de Contingencia

Se reasignarán tareas como primera medida. En el caso que la circunstancia lo amerite, se realizarán cambios en la planificación del proyecto, y como última medida se renegociará el alcance del sistema.

22.6. Problemas en la planificación

1.6.1. Ranking

Medio.

1.6.2. Descripción

El desconocimiento por parte del grupo, de conceptos en las aéreas vinculadas al objetivo del proyecto, de la herramienta ArcGIS y la curva de aprendizaje de la tecnología, tienen como consecuencia en las primeras etapas del proyecto, una mayor dificultad para realizar las planificaciones. Esta situación, creemos será revertida gradualmente, al ir avanzando el proyecto, contando con datos fehacientes que nos ayuden a realizar estimaciones con un mejor criterio.

1.6.3. Probabilidad de ocurrencia

Alto.

1.6.4. Impacto

Medio.

1.6.5. Estrategia de Mitigación

Se deberá llevar un control exhausto del esfuerzo empleado en cada una de las aéreas del proyecto, para así poder realizar mejores estimaciones y por consiguiente obtener mejores planificaciones.

1.6.6. Monitoreo

Comparar el esfuerzo real empleado para realizar tareas, contra lo estimado para la realización de la misma, sacando conclusiones que ayuden a mejorar las estimaciones y por consiguiente las planificaciones.

1.6.7. Plan de Contingencia

Planificar nuevamente las actividades, incrementando la dedicación por integrante, o en última instancia renegociar el alcance del sistema.

22.7. Disconformidad del cliente

1.7.1. Ranking

Muy grave.

1.7.2. Descripción

Al finalizar el proyecto, el cliente queda desconforme con el sistema construido.

1.7.3. Probabilidad de ocurrencia

Bajo.

1.7.4. Impacto

Muy alto.

1.7.5. Estrategia de Mitigación

Se realizarán reuniones con el cliente para mostrar avances en el producto y obtener un feedback. Además se deberá negociar los niveles de aceptación de cada una de las funcionalidades.

1.7.6. Monitoreo

En las pruebas realizadas por el grupo, verificando que los niveles de aceptación de cada funcionalidad se cumplen. En las reuniones con el cliente, verificando su conformidad con el producto en construcción.

1.7.7. Plan de Contingencia

Recurrir a la documentación que avale que el producto final cumple con:

- el alcance establecido para el sistema
- niveles de aceptación establecidos para cada uno de sus requerimientos funcionales y no funcionales.

22.8. Plazo de entrega

1.8.1. Ranking

Grave.

1.8.2. Descripción

El proyecto no finaliza según cronograma (Diciembre 2012).

1.8.3. Probabilidad de ocurrencia

Alta.

1.8.4. Impacto

Medio.

1.8.5. Estrategia de Mitigación

Se debe tener claro en cada momento, el avance del proyecto, la planificación a seguir y el calendario. Realizar todos los ajustes posibles para intentar cumplir el cronograma.

1.8.6. Monitoreo

Ver el desfasaje de tiempo obtenido en cada etapa del proyecto, para tener un estimativo del desfasaje total esperado.

1.8.7. Plan de Contingencia

Obtener una prórroga por parte del supervisor con la comisión, hasta marzo 2013.

22.9. Disponibilidad del cliente

1.9.1. Ranking

Muy grave.

1.9.2. Descripción

Es de gran importancia la disponibilidad del cliente. Es necesario contar con él para definir requerimientos, criterios de aceptación, alcance del sistema y evacuar dudas.

1.9.3. Probabilidad de ocurrencia

Alta.

1.9.4. Impacto

Muy alto.

1.9.5. Estrategia de Mitigación

Se propondrán por parte nuestra las reuniones necesarias, se dará prioridad a la disponibilidad del cliente por sobre la nuestra al momento de definir día y hora de cada reunión. En caso de no ser posible concretar una reunión, se planteará al cliente, el envío mediante email de los temas agendados para la reunión, solicitando una respuesta u opinión para cada uno de ellos.

1.9.6. Monitoreo

Se prestará atención a la antelación necesaria o preferida por el cliente para definir las reuniones y se cumplirá con ella. Se deberá tener noción también de la cantidad de días aproximado, que hay que aguardar para tener respuesta de un email enviado al cliente.

1.9.7. Plan de Contingencia

En el caso de que la disponibilidad del cliente sea escasa y este en riesgo la continuidad del proyecto, se le avisará al supervisor del proyecto y a las autoridades competentes.

Documento de Evaluación y Ajustes al Plan de Proyecto

Versión 1.1

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
20/11/2012	1.0	Creación del documento	Nicolás Oliveri.
21/11/2012	1.1	Revisión del documento	Martin Varela, Nicolás Oliveri, Gonzalo Parente

Contenido

1. DESVIACIONES ENCONTRADAS A LA PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO.	230
1.1. ESPECIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DE REQUERIMIENTOS	230
1.1.1. <i>Definición del alcance del proyecto</i>	230
1.1.2. <i>Evaluación y Ajuste</i>	230

1. Desviaciones Encontradas a la planificación del Proyecto

1.1. Especificación y validación de requerimientos

Se había planificado finalizar la especificación de requerimientos dentro de la fase inicial antes del 15/09/2012. Si bien el documento de especificación de requerimientos fue creado y enviado al responsable del proyecto el día 11/08/2012, y posteriormente se fijó y realizó una reunión para la validación de los requerimientos el día 20/09/2012, por indisposición del responsable del proyecto aun no se han podido validar. El día 15/11/2012 se recibió un mail por parte del responsable del proyecto para retomar las actividades del proyecto. Se decidió dar un plazo máximo de una semana para recibir la validación de los requerimientos, y realizar nuevamente la planificación del proyecto ajustándose a la fecha actual.

1.9.8. Definición del alcance del proyecto

Debido a lo mencionado en el punto 1.1 aun no se ha definido el alcance del proyecto, por tal motivo inmediatamente que se validen los requerimientos se realizara una reunión con el responsable del proyecto para definir el alcance del proyecto en común acuerdo.

1.9.9. Evaluación y Ajuste

Nos encontramos con un desfase considerable con respecto a la planificación realizada para el proyecto, pues no hemos podido cerrar el alcance del mismo y con ello finalizar su fase inicial.

Como medida principal se realizara nuevamente la planificación del proyecto, debiendo ajustar el calendario en el plan de proyecto, como así también en el plan de verificación y validación del mismo.

Acta de Reunión

Versión 1.1

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
01/08/2012	1.0	Reunión del día 09/08/2012	Parente, Gonzalo; Oliveri, Nicolás; Varela, Martin
10/08/2012	1.1	Completar acta de reunión con los temas tratados.	Parente, Gonzalo; Oliveri, Nicolás; Varela, Martin

Contenido

1. ORDEN DEL DÍA:	233
1.1. ESTADO DEL ARTE (VERSIÓN 4.0)	233
1.2. ESPECIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS	233
1.3. DEFINIR EL SIG A UTILIZAR	233
1.4. FORMAS EN LA CLUSTERIZACIÓN	233
1.5. RELACIÓN ENTRE LOS RENDIMIENTO Y LA DISTRIBUCIÓN DE UN NUTRIENTE....	233
1.6. FUNCIÓN DE FITNESS PARA EL ALGORITMO DE SIMULATED ANNEALING.....	233
1.7. ALGORITMO DE LOCALIZACIÓN	233
1.8. AGENDA PRÓXIMA REUNIÓN	233
2. TEMAS TRATADOS :	234
2.1. ESTADO DEL ARTE (VERSIÓN 4.0)	234
2.2. DEFINIR EL SIG A UTILIZAR	234
2.3. FORMAS EN LA CLUSTERIZACIÓN	234
2.4. RELACIÓN ENTRE LOS RENDIMIENTO Y LA DISTRIBUCIÓN DE UN NUTRIENTE....	234
2.5. FUNCIÓN DE FITNESS PARA EL ALGORITMO DE SIMULATED ANNEALING.....	234
2.6. ALGORITMO DE LOCALIZACIÓN	234
2.7. AGENDA PRÓXIMA REUNIÓN	234
3. TEMAS NO TRATADOS:	234
3.1. ESPECIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS	234

1. Orden del día:

1.1. Estado del arte (versión 4.0)

Presentación del estado del arte, abarcando los temas sugeridos para el mismo.

1.2. Especificación de requerimientos

Se presentara el documento EspecificacionRequerimiento_v1.0.doc con los requerimientos recabados por nuestro grupo en base a las reuniones ya realizadas. Se discutirán los puntos aun no definidos. Preferencia en el lenguaje, utilización de estándar de programación y elaboración de manual de usuario.

1.3. Definir el SIG a utilizar

Definir la disponibilidad de ArcGIS en el caso de que sea ese el SIG a utilizar.

1.4. Formas en la clusterización

Discutir aspectos en la etapa de realización de clúster. Definición de áreas mínimas.

1.5. Relación entre los rendimiento y la distribución de un nutriente

A la hora de decidir sobre la variabilidad de un área, es claro que sabemos determinarla en función de los rendimientos, tipos de suelo, etc., pero no vemos hasta el momento como relacionar esto con la distribución de los nutrientes.

1.6. Función de fitness para el algoritmo de Simulated Annealing

El algoritmo es sencillo y tiene buenos resultados pero no vemos como definir la función de fitness (función que evalúa que tan buena es una solución).

1.7. Algoritmo de localización

Dada una zona y una máxima distancia (m) entre posibles posiciones, posibles algoritmos que determinen una configuración inicial para el SA.

1.8. Agenda próxima reunión

Disponibilidad para la próxima reunión.

2. Temas Tratados :

2.1. Estado del arte (versión 4.0)

No fue leído aun por Omar Viera y Mercedes Berterretche. Omar Viera solicita que el estado del arte le sea entregado en formato impreso.

2.2. Definir el SIG a utilizar

Se definió que se utilizara ArcGIS, las licencias del mismo serán provistas por la empresa ICA, las cuales se deberán retirar en la empresa.

2.3. Formas en la clusterización

La etapa de realización de clúster, seguirá siendo labor de Mercedes Berterretche, tomando las decisiones necesarias, tales como definición de áreas mínimas.

2.4. Relación entre los rendimiento y la distribución de un nutriente

Se concluyo que no tenemos información para determinar la distribución de un nutriente. Podremos estimar mediante un conjunto de variables conocidas la variabilidad del suelo en la zona de estudio.

2.5. Función de fitness para el algoritmo de Simulated Annealing

Omar Viera plantea que debemos seguir analizando las distintas alternativas, para así poder evaluar la mejor solución a nuestro entender.

2.6. Algoritmo de localización

Omar Viera sugirió como alternativa investigar algoritmos de clusterización.

Los algoritmos nombrados fueron:

- Clarans
- Clustering
- K-Means Clustering
- P-Median Problem

2.7. Agenda próxima reunión

No se fija una fecha para la próxima reunión. La misma quedara a convenir luego de avanzar en la especificación de los requerimientos.

3. Temas NO tratados:

3.1. Especificación de requerimientos

Se opto por aplazar este punto hasta la próxima reunión.

Acta de Reunión

Versión 1.1

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
07/09/2012	1.0	Reunión del día 20/09/2012	Parente, Gonzalo; Oliveri, Nicolás; Varela, Martin
27/09/2012	1.1	Completar el acta de reunión	Parente, Gonzalo; Oliveri, Nicolás; Varela, Martin

Contenido

1. ORDEN DEL DÍA:	237
1.1. DEVOLUCIÓN DEL ESTADO DEL ARTE (VERSIÓN 4.1)	237
1.2. COMENTARIOS DEL DOCUMENTO DE ESPECIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS	237
1.3. PRESENTAR UN PROTOTIPO DE LA APLICACIÓN.....	237
1.4. DATOS DE PRUEBA	237
1.5. CONTACTO CON DESARROLLADOR DE ARCGIS EN ICA.	237
2. TEMAS TRATADOS :	237
2.1. DEVOLUCIÓN DEL ESTADO DEL ARTE (VERSIÓN 4.1)	237
2.2. COMENTARIOS DEL DOCUMENTO DE ESPECIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS	237
2.3. PRESENTAR UN PROTOTIPO DE LA APLICACIÓN.....	237
2.4. DATOS DE PRUEBA	237
3. TEMAS NO TRATADOS:	237
3.1. CONTACTO CON DESARROLLADOR DE ARCGIS EN ICA.	237

1. Orden del día:

1.1. Devolución del estado del arte (versión 4.1)

Devolución por parte de los tutores, del estado del arte entregado.

1.2. Comentarios del documento de Especificación de requerimientos

Comentarios acerca del documento de requerimientos entregado.

1.3. Presentar un prototipo de la aplicación

Mostrar un primer prototipo de la interfaz gráfica de la aplicación a construir.

1.4. Datos de prueba

Obtención de datos de prueba para la aplicación.

1.5. Contacto con desarrollador de ArcGIS en ICA.

Tener contacto con algún desarrollador de ArcGIS en ICA, para poder evacuar dudas del funcionamiento del software.

2. Temas Tratados :

2.1. Devolución del estado del arte (versión 4.1)

Omar Viera nos planteó que existen inconsistencias en la forma de referenciar documentos. Nos sugirió utilizar un solo formato.

En cuanto al contenido del documento, falta hablar de los temas: Optimización y Location/Allocation.

2.2. Comentarios del documento de Especificación de requerimientos

Mercedes Berterretche quedó en enviarnos los comentarios, ya que no tuvo tiempo de revisar el documento.

2.3. Presentar un prototipo de la aplicación

El prototipo fue presentado, Mercedes Berterretche nos solicitó que al momento de aplicar el algoritmo de Blackmore, sea posible configurar la varianza que define cuando una zona es estable o inestable.

2.4. Datos de prueba

Mercedes Berterretche nos entregó los datos, con los que podremos probar el algoritmo a desarrollar.

3. Temas NO tratados:

3.1. Contacto con desarrollador de ArcGIS en ICA.

Quedó pendiente solicitar el contacto de un desarrollador de ArcGIS en ICA, a quien poder realizarle consultas de ArcGIS.

Acta de Reunión

Versión 1.1

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
08/12/2012	1.0	Reunión del día 08/12/2012	Parente, Gonzalo; Oliveri, Nicolás; Varela, Martin
09/12/2012	1.1	Completar el acta de reunión	Parente, Gonzalo; Oliveri, Nicolás; Varela, Martin

Contenido

1. ORDEN DEL DÍA:	240
1.1. DEVOLUCIÓN DEL ESTADO DEL ARTE (VERSIÓN 4.2)	240
1.2. ACLARAR MÉTODO DE OPTIMIZACIÓN EMPLEADO	240
1.3. DEFINIR ALCANCE DEL SISTEMA	240
1.4. CONTACTO CON DESARROLLADOR DE ARCGIS EN ICA.	240
2. TEMAS TRATADOS :	240
2.1. DEVOLUCIÓN DEL ESTADO DEL ARTE (VERSIÓN 4.2)	240
2.2. ACLARAR MÉTODO DE OPTIMIZACIÓN EMPLEADO	240
2.3. DEFINIR ALCANCE DEL PROYECTO	240
2.4. CONTACTO CON DESARROLLADOR DE ARCGIS EN ICA	240

1. Orden del día:

1.1. Devolución del estado del arte (versión 4.2)

Devolución por parte de los tutores, del estado del arte entregado.

En esta última versión se incluye el algoritmo Spatial Simulated Annealing, que será utilizado para optimizar el muestreo.

1.2. Aclarar método de optimización empleado

Se presentara un documento con el cual se explicara cómo se implementara el algoritmo de optimización SSA.

1.3. Definir alcance del sistema

En base al documento de especificación de requerimientos Especificación de Requerimientos v1.1 se definirá el alcance del proyecto.

1.4. Contacto con desarrollador de ArcGIS en ICA.

Tener contacto con algún desarrollador de ArcGIS en ICA, para poder evacuar dudas del funcionamiento del software.

2. Temas Tratados :

2.1. Devolución del estado del arte (versión 4.2)

El documento es considerado correcto por parte de Omar Viera y Mercedes Berterretche.

2.2. Aclarar método de optimización empleado

Se explico el método de optimización SSA, el mismo fue aprobado por Omar Viera y Mercedes Berterretche.

2.3. Definir alcance del proyecto

Se definió el alcance del proyecto en base al documento de especificación de requerimientos Especificación de Requerimientos v1.1.

Además se negociaron nuevos requerimientos y actualizaron algunos ya existentes, para más información ver el documento Especificación de Requerimientos v2.1.

El alcance del proyecto se puede consultar en el documento Alcance del sistema v2.0

2.4. Contacto con desarrollador de ArcGIS en ICA

El contacto de ICA es Pablo Rebufello: prebuf@ica.com.uy

Acta de Reunión

Versión 1.1

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
26/04/2013	1.0	Reunión del día 26/04/2013	Oliveri, Nicolás; Varela, Martin
27/04/2013	1.1	Completar el acta de reunión	Varela, Martin

Contenido

1. ORDEN DEL DÍA:	243
1.1. INSTALAR ADD-IN EN LA PC DEL CLIENTE	243
1.2. MODULO - CARACTERIZACIÓN DE LA VARIABILIDAD TEMPORAL	243
1.3. MODULO - DISEÑO DE MUESTREO	243
1.4. MODULO - OPTIMIZAR MUESTREO	244
2. TEMAS TRATADOS:	245
2.1. INSTALAR ADD-IN EN LA PC DEL CLIENTE	245
2.2. MODULO - CARACTERIZACIÓN DE LA VARIABILIDAD TEMPORAL	245
2.3. MODULO - DISEÑO DE MUESTREO	245
2.4. MODULO - OPTIMIZAR MUESTREO	245

1. Orden del día:

1.1. Instalar add-in en la PC del cliente

1.2. Modulo - Caracterización de la variabilidad temporal

- Presentar la interfaz del modulo.
- Indicar la causa de la no implementación aun del mismo.
- Indicar el funcionamiento general a implementar.
- Evaluar conformidad del cliente.

1.3. Modulo - Diseño de muestreo

- Presentar la interfaz del modulo.
- Ejecutar caso de uso.
- Mostrar salida de casos de uso ya ejecutados.
- Explicar forma de calcular la variabilidad de un punto:

Variabilidad del punto i-esimo para la variable j es la siguiente:

$$\frac{ValorPunto_j - MediaVariable_j}{MediaVariable_j}$$

Donde $ValorPunto_j$ es el valor de la variable j en el punto i-esimo y $MediaVariable_j$ es el valor de la media de la variable j en el campo.

Luego la variabilidad del punto será la suma de las variabilidades de cada una de las variables seleccionada para el diseño de muestreo.

- Decisión de diseño cuando se agrupan los puntos.
- Evaluar conformidad del cliente.

1.4. Modulo - Optimizar muestreo

- Presentar la interfaz del modulo.
- Explicar algoritmo SSA y método de estimación IDW utilizado.
- Ejecutar caso de uso.
- Mostrar salida de casos de uso ya ejecutados.
- Presentar formula de estimación del error

$$\left(\sum_{i=1}^{cant\_puntos} \frac{|valor\_real - valor\_calculado|}{valor\_real} \right) / cant\_puntos$$

- Evaluar conformidad del cliente.

2. Temas Tratados:

2.1. Instalar add-in en la PC del cliente

No se pudo instalar el add-in, ya que la versión de ArcMap con la que cuenta el cliente en su PC (10.1), difiere de la versión para la cual se acordó que se iba a desarrollar el add-in (10.0). Se acordó investigar si esto se puede solucionar, pero sin que llegue a demandar mucho trabajo, ya que se había acordado previamente que el desarrollo debía ser compatible con la versión 10.0.

2.2. Modulo - Caracterización de la variabilidad temporal

Se presentó la interfaz de usuario y como va a ser el funcionamiento del módulo una vez que sea implementado. El cliente aprobó la interfaz de usuario y también el futuro funcionamiento del mismo.

Acordamos tenerlo implementado en 2 semanas, por lo que luego de implementado deberá ser validado en ejecución.

2.3. Modulo - Diseño de muestreo

Se ejecutó un caso de uso, validando tanto la interfaz del módulo como el funcionamiento del mismo.

El cliente solicitó modificar la fórmula del cálculo de variabilidad:

$$\frac{ValorPunto_j - MediaVariable_j}{MediaVariable_j}$$

Por una fórmula que utilice la desviación estándar, que se calcula de la siguiente manera:

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (ValorPunto_j - MediaVariable_j)^2}{n}}$$

2.4. Modulo - Optimizar muestreo

Se presentó la interfaz de usuario y el modo de funcionamiento del módulo.

Se explicaron las distintas configuraciones posibles de los parámetros requeridos para ejecutar.

Se validó la utilización del método IDW como método de interpolación, sustituyendo al kriging, ya que no se logró hacerlo funcionar desde el add-in. A partir de esto el cliente solicitó que el parámetro “Grado” del IDW que por defecto estaba seteado con

valor 2, pueda ser configurable desde la interfaz, ya que ArcMap permite optimizar este valor.

En cuanto a la formula de estimación del error el cliente solicitó que se utilizara el Root Mean Square Error, que se calcula de la siguiente forma:

$$RMSE_{errors} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$$

donde $\hat{y}_i - y_i$ es el dato estimado menos el dato medido u observado.

Para calcular el número de muestras a tomar utilizamos una fórmula definida por nosotros que depende del rango(en metros) de los datos. Quedamos en enviar la formula por mail para que ellos la validaran.

Acta de Reunión

Versión 1.1

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
10/06/2013	1.0	Reunión del día 13/06/2013	Gonzalo Parente; Nicolás Oliveri; Martin Varela.
13/06/2013	1.1	Actualización del documento	Gonzalo Parente.

Contenido

1. ORDEN DEL DÍA:	249
1.1. DOCUMENTACIÓN DEL PRODUCTO	249
1.2. INSTALACIÓN DE LA HERRAMIENTA	249
1.3. MANUAL DE USUARIO	249
1.4. ENTREGA DE CD	249
1.5. CONSULTA SOBRE LOS PASOS A SEGUIR	249
2. TEMAS TRATADOS :	249
2.1. DOCUMENTACIÓN DEL PRODUCTO	249
2.2. INSTALACIÓN DE LA HERRAMIENTA	249
2.3. MANUAL DE USUARIO	249
2.4. ENTREGA DE CD	249
2.5. CONSULTA SOBRE LOS PASOS A SEGUIR	249

1. Orden del día:

1.1. Documentación del producto

Se entrega a Mercedes Berterreche y Omar Viera una copia de todos los documentos generados en el proceso de desarrollo.

1.2. Instalación de la herramienta

Se instalara en la PC de Mercedes Berterreche el producto realizado. Además se explicara de forma básica el uso y funcionalidades de la misma.

1.3. Manual de usuario

Se entregara a Mercedes Berterreche y Omar Viera una copia del manual de usuario de la herramienta.

1.4. Entrega de CD

Se entregara a Mercedes Berterreche y Omar Viera un CD que contiene la documentación del proceso de desarrollo, el documento de estado del arte, la bibliografía utilizada y el instalador del add-in versión 2.0.

1.5. Consulta sobre los pasos a seguir

Consultar dudas sobre contenido, formato y plazo estipulado para realizar la entrega del informe final.

2. Temas Tratados :

2.1. Documentación del producto

Se entrego la carpeta con la documentación.

2.2. Instalación de la herramienta

Se instalo de forma satisfactoria la herramienta en la PC de Mercedes Berterreche y se probaron de forma básica las diferentes funcionalidades. Se le entrego a Mercedes la encuesta de satisfacción del cliente. Definimos que nos la enviaba por correo electrónico cuando la realice.

2.3. Manual de usuario

Se entrego el manual de usuario en formato impreso.

2.4. Entrega de CD

Se entrego un CD a los presentes que contiene la documentación del proceso de desarrollo, el documento de estado del arte, la bibliografía utilizada y el instalador del add-in versión 2.0.

2.5. Consulta sobre los pasos a seguir

Se hablo con Omar Viera acerca de los pasos a seguir. Se estimo aproximadamente un mes para la realización del informe final y quince días para su corrección.

GESTIÓN DE CALIDAD

Plan de SQA

Versión 1.0

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
28/08/2012	1.0	Creación del documento	Martin Varela, Nicolás Oliveri, Gonzalo Parente

Contenido

1. PROPÓSITO	252
2. REFERENCIAS	252
3. GESTIÓN.....	252
3.1. ORGANIZACIÓN.....	252
3.2. ACTIVIDADES.....	253
3.2.1. <i>Ciclo de vida del software cubierto por el Plan</i>	253
3.2.2. <i>Actividades de calidad a realizarse</i>	254
3.2.3. <i>Revisar cada producto</i>	254
3.2.4. <i>Revisar el ajuste al proceso</i>	254
3.2.5. <i>Realizar Revisión Técnica Formal (RTF)</i>	255
3.2.6. <i>Relaciones entre las actividades de SQA y la planificación</i>	255
3.3. RESPONSABLES	255
4. DOCUMENTACIÓN	255
4.1. PROPÓSITO	255
4.2. DOCUMENTACIÓN MÍNIMA REQUERIDA.....	256
4.2.1. <i>Especificación de requerimientos del software</i>	256
4.2.2. <i>Descripción del diseño del software</i>	257
4.2.3. <i>Plan de Verificación & Validación</i>	257
4.2.4. <i>Reportes de Verificación & Validación</i>	258
4.2.5. <i>Documentación de usuario</i>	258
4.3. OTROS DOCUMENTOS.....	258
5. ESTÁNDARES, PRÁCTICAS, CONVENCIONES Y MÉTRICAS	258
5.1. ESTÁNDAR DE DOCUMENTACIÓN.....	258
5.2. ESTÁNDAR DE VERIFICACIÓN Y PRÁCTICAS	258
5.3. OTROS ESTÁNDARES.....	259
6. REVISIONES Y AUDITORÍAS	259
6.1. OBJETIVO	259
6.2. REQUERIMIENTOS MÍNIMOS.....	259
6.2.1. <i>Revisión de requerimientos</i>	259
6.2.2. <i>Revisión de diseño preliminar</i>	259
6.2.3. <i>Revisión de diseño crítico</i>	259
6.2.4. <i>Revisión del Plan de Verificación & Validación</i>	259
6.2.5. <i>Auditoría funcional</i>	259
6.2.6. <i>Auditoría física</i>	259
6.2.7. <i>Auditorías internas al proceso</i>	259
6.2.8. <i>Revisiones de gestión</i>	259
6.2.9. <i>Agenda</i>	260
6.3. OTRAS REVISIONES	260
6.3.1. <i>Revisión de documentación de usuario</i>	260
7. VERIFICACIÓN.....	260
8. REPORTE DE PROBLEMAS Y ACCIONES CORRECTIVAS.....	260
9. HERRAMIENTAS, TÉCNICAS Y METODOLOGÍAS	260
10. GESTIÓN DE RIESGOS.....	262

1. Propósito

El propósito de este plan es especificar las pautas a seguir durante el proceso de desarrollo para poder asegurar la calidad del mismo y la del producto a ser elaborado, detallando todo lo referente a la planificación del seguimiento de la calidad en el proyecto. Para ello se indicaran los atributos de calidad relevantes y los métodos de evaluación de la calidad de los mismos. Además se deberá especificar las medidas correctivas a tomar en caso de presentar desviaciones en las mediciones antes mencionadas.

No se cubrirá la totalidad del ciclo de vida del proyecto, sino que tiene en cuenta los ciclos correspondientes a las actividades de análisis, diseño, construcción, prueba y liberación del software pero no la parte del ciclo de vida correspondiente al mantenimiento.

2. Referencias

[1]ANSI/IEEE Std 730.1-1989, IEEE Standard for Software Quality Assurance Plans.

3. Gestión

3.1. Organización

La gestión de calidad del software está a cargo de todos los integrantes del equipo, se verificara que se cumplan con los estándares de calidad adoptados al proyecto. Se especifico un responsable de SQA para llevar a cabo la documentación de la misma.

Las líneas de trabajo que tiene mayor influencia sobre la calidad del software son:

- Requerimientos
- Diseño
- Implementación
- Verificación
- Implantación

Existen líneas de trabajo de gestión constituidas por actividades que influyen en la calidad del proceso de desarrollo y se realizan en forma paralelas a las antes mencionadas. Algunas de estas líneas son:

- Gestión de Proyecto
- Gestión de Configuración
- Gestión de Calidad
- Gestión de Comunicación

Las tareas de generación del software son realizadas por las aéreas de requerimientos, análisis, diseño e implementación, las cuales se apoyan en las aéreas de gestión.

El responsable de SQA revisa los productos y entregables elaborados en las otras líneas de trabajo, realizando sugerencias y documentando las desviaciones encontradas en los casos que corresponda. Además debe generar métricas que ayuden en la gestión del proyecto a cumplir con la calidad pautada

Aunque la cantidad de integrantes del equipo es de solo tres personas, se decidió definir responsables por áreas para mejorar la organización (quien era responsable de realizar la documentación y planificación del área), cabe aclarar que todos los integrantes participaban activamente en cada una de las áreas aportando ideas, sugerencias y/o relevando en caso de que fuese necesario al responsable, ya que cada integrante tiene un alto conocimiento del estado de cada área por el tamaño del grupo y la fluida comunicación.

Área	Responsable
Administrador	Nicolás Oliveri, Gonzalo Parente, Martin Varela
Responsable de SQA	Nicolás Oliveri
Responsable de Verificación	Nicolás Oliveri
Arquitecto	Gonzalo Parente
Analista	Gonzalo Parente, Martin Varela
Especialista técnico	Martin Varela

3.2. Actividades

3.2.1. Ciclo de vida del software cubierto por el Plan

Disciplinas	Entregables
Requerimientos	· Especificación de requerimientos · Modelo de casos de uso · Documento de validación con el cliente · Pautas para interface de usuario · Alcance del sistema · Modelo de dominio · Glosario
Diseño	· Modelo de diseño · Diseño de arquitectura
Implementación	· Estándar de implementación
Verificación	· Plan de verificación y validación · Modelo de casos de prueba · Informe de verificación del sistema · Reporte de pruebas · Informe final de verificación

Implantación	· Plan de implantación · Reporte final de pruebas de aceptación · Materiales para soporte al usuario
Gestión de proyecto	· Plan de proyecto · Estimaciones y mediciones · Documento de riesgos · Informe final de proyecto · Documento de evaluación y ajuste al plan de proyecto

Tabla [1]

3.2.2. Actividades de calidad a realizarse

Las tareas a ser llevadas a cabo deberán reflejar las evaluaciones a realizar, los estándares a seguir, los productos a revisar, los procedimientos a seguir en la elaboración de los distintos productos y los procedimientos para informar de los defectos detectados a sus responsables y realizar el seguimiento de los mismos hasta su corrección.

Las actividades que se realizarán son:

- Revisar cada producto
- Revisar el ajuste al proceso
- Realizar Revisión Técnica Formal (RTF)
- Asegurar que las desviaciones son documentadas.

3.2.3. Revisar cada producto

En esta actividad se revisan los productos que se definieron como claves para verificar en el Plan de calidad.

Se debe verificar que no queden correcciones sin resolver en los informes de revisión previos, si se encuentra alguna no resuelta, debe ser incluida en la siguiente revisión. Se revisan los productos contra los estándares, utilizando la checklist definida para el producto.

Se debe identificar, documentar y seguir la pista a las desviaciones encontradas y verificar que se hayan realizado las correcciones.

3.2.4. Revisar el ajuste al proceso

En esta actividad se revisan los productos que se definieron como claves para verificar el cumplimiento de las actividades definidas en el proceso. Con el fin de asegurar la calidad en el producto final del desarrollo, se deben llevar a cabo revisiones sobre los productos durante todo el ciclo de vida del software.

Se debe recoger la información necesaria de cada producto, buscando hacia atrás los productos previos que deberían haberse generado, para poder establecer los criterios de revisión y evaluar si el producto cumple con las especificaciones.

Esta información se obtiene de los siguientes documentos:

- Plan del Proyecto
- Plan de Verificación.

3.2.5. Realizar Revisión Técnica Formal (RTF)

El objetivo de la RTF es descubrir errores en la documentación, la lógica ó la implementación de cualquier producto del software, verificar que satisface sus especificaciones, que se ajusta a los estándares establecidos, señalando las posibles desviaciones detectadas. Es un proceso de revisión riguroso, su objetivo es llegar a detectar lo antes posible, los posibles defectos o desviaciones en los productos que se van generando a lo largo del desarrollo. Por esta característica se adopta esta práctica para productos que son de especial importancia.

En la reunión participan todos los integrantes del equipo. La duración de la reunión no debe ser mayor a dos horas.

Como salida se obtiene el Informe de RTF.

3.2.6. Relaciones entre las actividades de SQA y la planificación

Actividad	Fase cuando se realiza
Identificar las Propiedades de Calidad	Inicial
Revisar las entregas	Inicial, Elaboración, Construcción, Transición
Planificar la Calidad	Inicial
Elaboración del Plan de Calidad	Inicial
Realizar Revisión Técnica Formal	Elaboración y Construcción
Revisar el ajuste al proceso	Inicial, elaboración y construcción
Evaluación y ajuste del Plan de Calidad	Elaboración y construcción
Evaluar la Calidad de los Productos	Inicial, Elaboración, Construcción, Transición
Evaluación final de Calidad	Transición

3.3. Responsables

El responsable de la elaboración y desarrollo de las actividades antes mencionadas en el Responsable SQA (Nicolás Oliveri), contando siempre con la colaboración de los demás integrantes del equipo (Martin Varela y Gonzalo Parente).

4. Documentación

4.1. Propósito

Identificación de la documentación relativa a desarrollo, Verificación & Validación, uso y mantenimiento del software.

Establecer como los documentos van a ser revisados para chequear consistencia: se confirman criterio e identificación de las revisiones.

4.2. Documentación mínima requerida

La documentación mínima es la requerida para asegurar que la implementación logrará satisfacer los requerimientos.

4.2.1. Especificación de requerimientos del software

El documento de especificación de requerimientos deberá describir, de forma clara y precisa, cada uno de los requerimientos esenciales del software además de las interfaces externas.

El cliente deberá obtener como resultado del proyecto una especificación adecuada a sus necesidades en el área de alcance del proyecto, de acuerdo al compromiso inicial del trabajo y a los cambios que este haya sufrido a lo largo del proyecto, que cubra aquellos aspectos que se haya acordado detallar con el cliente.

La especificación debe:

- Ser completa :
 - a. Externa, respecto al alcance acordado.
 - b. Internamente, no deben existir elementos sin especificar.
- Ser consistente, no pueden haber elementos contradictorios.
- Ser no ambigua, todo término referido al área de aplicación debe estar definido en un glosario.
- Ser verificable, debe ser posible verificar siguiendo un método definido, si el producto final cumple o no con cada requerimiento.
- Estar acompañada de un detalle de los procedimientos adecuados para verificar si el producto cumple o no con los requerimientos.
- Incluir requerimientos de calidad del producto a construir.

Los requerimientos de calidad del producto a construir son considerados dentro de atributos específicos del software que tienen incidencia sobre la calidad en el uso y se detallan a continuación:

Funcionalidad

- a. adecuación a las necesidades
- b. precisión de los resultados
- c. interoperabilidad

Confiability

- a. madurez
- b. tolerancia a faltas
- c. recuperabilidad

Usabilidad

- a. comprensible
- b. aprendible
- c. operable
- d. atractivo

Eficiencia

- a. comportamiento respecto al tiempo
- b. utilización de recursos

Mantenibilidad

- a. analizable
- b. modificable
- c. estable, no se producen efectos inesperados luego de modificaciones
- d. verificable

Portabilidad

- a. adaptable
- b. instalable

Cada uno de estos atributos debe cumplir con las normas y regulaciones aplicables a cada uno.

4.2.2. Descripción del diseño del software

El documento de diseño especifica como el software será construido para satisfacer los requerimientos.

Deberá describir los componentes y subcomponentes del diseño del software, incluyendo interfaces internas. Este documento deberá ser elaborado primero como Preliminar y luego será gradualmente extendido hasta llegar a obtener el Detallado.

El cliente deberá obtener como resultado del proyecto el diseño de un producto de software que cubra aquellos aspectos que se haya acordado con el cliente incorporar al diseño, en función de la importancia que estos presenten y de sus conexiones lógicas.

El diseño debe:

- Corresponder a los requerimientos a incorporar:
 - a. Todo elemento del diseño debe contribuir a algún requerimiento
 - b. La implementación de todo requerimiento a incorporar debe estar contemplada en por lo menos un elemento del diseño.
- Ser consistente con la calidad del producto

4.2.3. Plan de Verificación & Validación

El Plan de V & V deberá identificar y describir los métodos a ser utilizados en:

- La verificación de que:
 - a. los requerimientos descritos en el documento de requerimientos han sido aprobados por una autoridad apropiada. En este caso sería que cumplan con el acuerdo logrado entre el cliente y el equipo.

- b. los requerimientos descritos en el documento de requerimientos son implementados en el diseño expresado en el documento de diseño.
- c. el diseño expresado en el documento de diseño esta implementado en código.
- Validar que el código, cuando es ejecutado, se adecua a los requerimientos expresados en el documento de requerimientos.

4.2.4. Reportes de Verificación & Validación

Estos documentos deben especificar los resultados de la ejecución de los procesos descritos en el Plan de V & V.

4.2.5. Documentación de usuario

La documentación de usuario debe especificar y describir los datos y entradas de control requeridos, así como la secuencia de entradas, opciones, limitaciones de programa y otros elementos necesarios para la ejecución exitosa del software.

Todos los errores deben ser identificados y las acciones correctivas descritas.

Como resultado del proyecto el cliente obtendrá una documentación para el usuario de acuerdo a los requerimientos específicos del proyecto.

4.3. Otros documentos

En la tabla [1] se presentaron actividades y documentos que son producto de cada una de ellas, estos documentos son considerados incidentes en la calidad del proyecto, por tal motivo serán revisados y controlados exhaustivamente.

5. Estándares, prácticas, convenciones y métricas

En esta sesión se identifican los estándares, prácticas, convenciones y métricas que serán aplicadas para la evaluación de Calidad.

5.1. Estándar de documentación

La documentación técnica del producto debe:

- Ser adecuada para que un grupo independiente del de desarrollo pueda encarar el mantenimiento del producto.
- Incluir fuentes, Modelos de Casos de Uso, Objetos

Para la escritura de documentos se han definido plantillas para ser utilizadas en la elaboración de entregables.

En estas plantillas se definen:

- encabezado y pie de página.
- fuente y tamaño de fuente para estilo normal
- fuente y tamaño de fuente para los títulos a utilizar
- datos mínimos que se deben incluir: fecha, versión y responsables.

5.2. Estándar de verificación y prácticas

Se utilizan las prácticas definidas en el Plan de Verificación y Validación.

Como estándar se utiliza el documento de:

5.3. Otros Estándares

Estándar de implementación realizado por el grupo con el objetivo de presentar un conjunto de lineamientos que permitan mejorar la comprensión y claridad del código.

6. Revisiones y auditorías

6.1. Objetivo

Definición de las revisiones y auditorías técnicas y de gestión que se realizarán.
Especificación de cómo serán llevadas a cabo dichas revisiones y auditorías.

6.2. Requerimientos mínimos

6.2.1. Revisión de requerimientos

Esta revisión se realiza para asegurar que se cumplió con los requerimientos especificados por el Cliente.

6.2.2. Revisión de diseño preliminar

Esta revisión se realiza para asegurar la consistencia y suficiencia técnica del diseño preliminar del software.

6.2.3. Revisión de diseño crítico

Esta revisión se realiza para asegurar la consistencia del diseño detallado con la especificación de requerimientos.

6.2.4. Revisión del Plan de Verificación & Validación

Esta revisión se realiza para asegurar la consistencia y completitud de los métodos especificados en el Plan de V & V.

6.2.5. Auditoría funcional

Esta auditoría se realiza previa a la liberación del software, para verificar que todos los requerimientos especificados en el documento de requerimientos fueron cumplidos.

6.2.6. Auditoría física

Esta revisión se realiza para verificar que el software y la documentación son consistentes y están aptos para la liberación.

6.2.7. Auditorías internas al proceso

Estas auditorías son para verificar la consistencia: del código versus el documento de diseño, especificaciones de interface, implementaciones de diseño versus requerimientos funcionales, requerimientos funcionales versus descripciones de testeo.

6.2.8. Revisiones de gestión

Estas revisiones se realizan periódicamente para asegurar la ejecución de todas las actividades identificadas en este Plan. Deben realizarse por una persona ajena al grupo de trabajo (en caso de que sea posible).

6.2.9. Agenda

A continuación se muestra una agenda tentativa, en la misma se indica en qué fase se realizarán las revisiones.

Revisión	Fases en las que se realizan
Revisión de Requerimientos	Inicial
Revisión de Diseño Preliminar.	Elaboración
Revisión de Diseño Crítico.	Elaboración y Construcción
Revisión de Plan de V & V.	Elaboración y Construcción
Revisión de Gestión.	Inicial, Elaboración y Construcción
Revisión del Plan de Gestión.	Inicial, Elaboración y Construcción

6.3. Otras revisiones

6.3.1. Revisión de documentación de usuario

Se revisa la completitud, claridad, correctitud y aplicación de uso.

7. Verificación

Las verificaciones del software se realizarán en base al Plan de Verificación y Validación. En caso que sea necesario modificar dicho documento, se le informará a la Responsable de Verificación quien se encargará de mantener el Plan actualizado.

8. Reporte de problemas y acciones correctivas

El responsable de realizar cada documento, es el encargado de cumplir con los estándares definidos, luego el responsable de SQA es el que se encargará de verificar que los estándares fueron cumplidos.

Si los errores son de tipo de formato, se modifica y se le reporta al responsable para que lo tenga en cuenta. En cambio si el incumplimiento involucra mayores cambios, no se modifica, se notifica al responsable, y las modificaciones necesarias se realizan en forma conjunta

9. Herramientas, técnicas y metodologías

Para asegurar la calidad tanto del proceso como del software a construir se tomara como base el checklist proporcionado por el proceso de desarrollo M.U.M.

Q3 Evaluación y ajuste al plan de calidad

- ✓ Se enumeraron las actividades previstas en el Plan de Calidad para la Fase a la que corresponde el documento que se está realizando y las que se hubieran re-planificado en documentos de Evaluación y Ajustes anteriores.
- ✓ Se enumeraron las desviaciones encontradas respecto a las actividades planificadas, esto es las actividades que no se realizaron como y/o cuando estaban planificadas o que no se realizaron en absoluto.
- ✓ Se describieron cada una de las desviaciones encontradas estableciendo su naturaleza y gravedad en cuanto al impacto de la misma en la calidad del proyecto y productos afectados.
- ✓ Se documentaron las mediciones correspondientes a las actividades realizadas contra las actividades planificadas, cantidad de productos revisados contra cantidad de productos previstos para revisar en el Plan de Calidad.
- ✓ Se efectuó la evaluación y el ajuste de las actividades de Calidad tomando en cuenta si quedaron pendientes verificaciones de productos y/o pruebas por realizar que tengan que planificarse nuevamente.
- ✓ Se planificaron las revisiones que quedaron pendientes.

Q4 Revisión Técnica Formal

- ✓ Se especificó para cada producto revisado:
 - el nombre, la versión y la línea de trabajo a la que corresponde el producto revisado
 - nombre y rol de los participantes de la RTF
 - la forma en que se hizo la revisión, por Ej. Lista de chequeo definida en el Plan de SQA para la revisión de productos, entradas, salidas y descripción de actividades
 - que aspectos del Producto serán revisados, que propiedades de la calidad se buscará que cumpla y en qué grado, que principios y estándares de calidad aplican al Producto.
 - detalló los problemas detectados tanto en el producto como en el proceso de elaboración del mismo.
- ✓ Para cada problema detectado se describieron:
 - sus características
 - gravedad
 - se especifico su ubicación
- ✓ Para cada problema detectado se establecieron sugerencias a las correcciones a realizar para que el producto cumpla con los principios y estándares de calidad establecidos y los procedimientos definidos.
- ✓ Se realizó una evaluación global del Producto revisado de acuerdo a los Objetivos planteados y los problemas detectados

- ✓ Se establecieron las acciones a tomar para que el producto sea corregido y revisado en una nueva versión (en caso de ser requerido).
- ✓ Se estableció la próxima revisión de acuerdo a los puntos detallados anteriormente, en términos de fechas o Fase.

10. Gestión de riesgos

Los riesgos identificados, la estrategia de mitigación, monitoreo y plan de contingencia a ser llevados a cabo, serán descritos en el Documento de Gestión de Riesgos. Ver documento *Documento de Riesgos_1.0*.

Informe de Revisión Técnica Formal (RTF)

Versión 1.0

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
10/12/2012	1.0	Creación del documento	Nicolás Oliveri

Contenido

1. PRODUCTO REVISADO.....	265
1.1. NOMBRE Y VERSIÓN DEL PRODUCTO REVISADO	265
1.2. PARTICIPANTES DE LA REVISIÓN	265
1.3. TÉCNICA UTILIZADA.....	265
2. OBJETIVOS DE LA RTF.....	265
3. PROBLEMAS DETECTADOS.....	265
3.1. INTERFACE CON SOFTWARE	265
3.1.1. <i>Sugerencia de corrección</i>	265
3.2. ENTENDIBLE.....	265
3.2.1. <i>Sugerencia de corrección</i>	265
3.3. MANTENIBLE	266
3.3.1. <i>Sugerencia de corrección</i>	266
4. EVALUACIÓN	266
4.1. ESTADO ACTUAL DEL PRODUCTO	266
4.2. ACCIONES A TOMAR	266
4.3. PRÓXIMA REVISIÓN DEL PRODUCTO	266

1. Producto revisado

1.1. Nombre y Versión del Producto revisado

Se realizó la revisión sobre el documento de Especificación de Requerimientos_v1.1.

1.2. Participantes de la revisión

Gonzalo Parente

Martin Varela

Nicolás Oliveri

1.3. Técnica utilizada

El responsable de SQA realizó una lectura detenida del documento, en búsqueda de errores y/o incoherencias en el mismo. Apoyándose en una lista de chequeo confeccionada previamente.

2. Objetivos de la RTF

El objetivo de esta revisión es encontrar errores o incoherencias en el documento de especificación de requerimientos, además de verificar que los requerimientos sean entendibles y completos.

3. Problemas detectados

Se describen en forma detallada los problemas detectados tanto en el producto como en el proceso de elaboración del mismo, y se plantean las sugerencias de corrección para la próxima versión del Producto.

3.1. Interface con software

No se relevó completamente este requerimiento, pues no se incluyó el detalle de la interacción que deberá contemplar el sistema a construir con un complemento ArcGIS provisto por el cliente.

3.1.1. Sugerencia de corrección

La interacción antes mencionada refiere a que el sistema a construir debe soportar como datos de entrada la salida provista por el complemento mencionado en el punto anterior. Por tal motivo se sugiere ahondar en el conocimiento de este requerimiento, pidiéndole más información al cliente, sobre ese complemento provisto y el tipo de archivo resultado que genera el mismo (en lo posible que provea datos de salida de ese complemento para ver el formato).

3.2. Entendible

Dentro de los requerimientos suplementarios (usabilidad), no se prevé que el sistema a construir pueda ser utilizado por un usuario que no sea experto, pues en el punto “entendible” se mencionó que no correspondía.

3.2.1. Sugerencia de corrección

Se deberá proveer ayudas de contexto, para mejorar la usabilidad del sistema, de forma de contemplar el uso del sistema a construir por usuarios no expertos y/o proveer apoyo a un usuario experto según sea necesario.

3.3. Mantenible

Dentro de los requerimientos suplementarios no se prevé que el código del sistema a construir sea mantenible.

3.3.1. Sugerencia de corrección

Se deberá modificar el requerimiento, agregando que el código deberá estar correctamente comentado, de forma tal de facilitar su extensibilidad y mantenibilidad.

4. Evaluación

4.1. Estado actual del Producto

El producto se encuentra en un estado general correcto, aunque se deben realizar las correcciones a los errores detectados cuanto antes.

4.2. Acciones a tomar

Se realizarán aquellos cambios sugeridos en el informe que no requerían consultas al cliente. Además las dudas en los requerimientos que requieran la intervención del cliente serán evacuadas en una próxima reunión.

4.3. Próxima Revisión del Producto

Se realizará una próxima revisión del documento a partir de que se realicen todos los cambios sugeridos.

Documento de Evaluación y Ajuste del Plan de Calidad

Versión 1.0

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
08/12/2012	1.0	Creación del documento	Nicolás Oliveri

Contenido

1. ACTIVIDADES PREVISTAS EN EL PLAN DE CALIDAD	269
2. REFERENCIAS.....	269
3. DESVIACIONES ENCONTRADAS	269
4. MEDICIONES	269
5. EVALUACIÓN Y AJUSTES.....	269
5.1. REVISIONES PENDIENTES.....	269

1. Actividades previstas en el Plan de Calidad

Actividad	Fase cuando se realiza
Identificar las Propiedades de Calidad	Inicial
Planificar la Calidad	Inicial
Elaboración del Plan de Calidad	Inicial
Revisar el ajuste al proceso	Inicial
Evaluar la Calidad de los Productos	Inicial

2. Referencias

- Evaluación y ajuste Plan de Proyecto_v1.1 [1]
- Plan de Proyecto_2.0 [2]
- Documento de Riesgos_1.0 [3]

3. Desviaciones Encontradas

Por el momento no se han encontrado desviaciones a lo propuesto en el plan de calidad. Todas las actividades marcadas para esta fase se han realizando.

Cabe aclarar que si existe una desviación en el cronograma del proyecto, por mas información referirse a los documentos [1] y [2].

4. Mediciones

Se han realizado todas las actividades planificadas en el plan para la fase actual, la única desviación es la que se menciona en el punto 3.0.

5. Evaluación y Ajustes

La evaluación de la calidad del proceso hasta el momento es satisfactoria, pues se han realizado todas las actividades planificadas para la fase actual.

Por el atraso de la validación de los requerimientos por parte del cliente, se debió re planificar el cronograma del proyecto, cabe mencionar que fue un riesgo identificado oportunamente en el documento [3]

5.1. Revisiones pendientes

No hay revisiones pendientes.

Informe de Revisión Técnica Formal (RTF)

Versión 2.0

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
31/01/2013	2.0	Creación del documento	Nicolás Oliveri

Contenido

1. PRODUCTO REVISADO.....	272
1.1. NOMBRE Y VERSIÓN DEL PRODUCTO REVISADO	272
1.2. PARTICIPANTES DE LA REVISIÓN	272
1.3. TÉCNICA UTILIZADA.....	272
2. OBJETIVOS DE LA RTF.....	272
3. CHECKLIST.....	272
4. PROBLEMAS DETECTADOS.....	273
4.1. FALTA MAPEO ENTRE MODELO DE DISEÑO Y MODELO DE IMPLEMENTACIÓN	273
4.1.1. <i>Sugerencia de corrección</i>	273
4.2. BAJO NIVEL DE VALIDACIÓN ENTRE CAPAS	274
4.2.1. <i>Sugerencia de corrección</i>	274
4.3. ALTA CANTIDAD DE PARÁMETROS EN LAS FIRMAS DE OPERACIONES	274
4.3.1. <i>Sugerencia de corrección</i>	274
5. EVALUACIÓN	274
5.1. ESTADO ACTUAL DEL PRODUCTO	274
5.2. ACCIONES A TOMAR	274

1. Producto revisado

1.1. Nombre y Versión del Producto revisado

Se realizó la revisión sobre los documentos:

Diseño de la arquitectura - Versión 1.1

Modelo de diseño - Versión 1.1

1.2. Participantes de la revisión

Gonzalo Parente

Martin Varela

Nicolás Oliveri

1.3. Técnica utilizada

Se utilizaron listas de chequeo para la revisión de la arquitectura y el modelo de diseño.

2. Objetivos de la RTF

Los objetivos de esta revisión es, mediante el estudio de los documentos referidos en el punto 1.1 y la realización de dos checklist, descubrir errores en la construcción de nuestro diseño y arquitectura del sistema; con el fin de detectar lo antes posible defectos y/o desviaciones en el diseño y la arquitectura.

3. Checklist

Preguntas Arquitectura	SI	NO
¿La arquitectura seleccionada ha sido ejercitada en escenarios reales?	X	
¿Se especifican en el documento los mapeos entre los requerimientos y el Modelo de Diseño?	X	
¿Se especifican en el documento los mapeos entre el Modelo de Diseño y el Modelo de Implementación?		X
¿Se tienen en cuenta todas las propiedades de calidad que debe tener el sistema?	X	
¿Se ha alcanzado un grado adecuado de modularidad?	X	
¿Se ha diseñado para el cambio?	X	
¿Se ha diseñado de manera extensible?	X	

Preguntas Diseño	SI	NO	N/A
¿Se han definido subsistemas como parte de la representación del diseño?	*		
¿El modelo de diseño permite cumplir con todos los requerimientos explícitos?	*		
¿El modelo de diseño permite cumplir con todos los requerimientos implícitos?	*		
¿Se definieron los aspectos claves de la interfaz de usuario?	*		
¿Se localizaron operaciones críticas y se ubicaron en un número reducido de subsistemas con poca comunicación? (¿se pensó en el desempeño?)	*		
¿Se estructuro en capas con los recursos más críticos protegidos por las capas más internas con alto nivel de validación? (¿se pensó en el seguridad?)		*	
¿El diseño toma en cuenta todas las situaciones y condiciones esperadas?	*		
¿El diseño especifica comportamiento apropiado al enfrentar entradas inesperadas y otras condiciones anómalas?	*		
¿Se ha tenido en cuenta la facilidad de mantenimiento? Como se pueden agregar nuevos sistemas para monitorear sin tener que cambiar lo hecho, ¿a qué módulos afecta éste cambio? Como se pueden agregar nuevos eventos a monitorear sin tener que cambiar los ya existentes, ¿a qué módulos afecta éste cambio?	*		
¿Se ha tenido en cuenta la identificación y manejo de excepciones?	*		
¿Se ha tenido en cuenta la prevención de faltas o la tolerancia a faltas?	*		
¿Se apunta al reuso de componentes? ¿Cuales componentes son reusable?		*	
¿La notación utilizada es consistente?	*		
¿Se ha tenido en cuenta la facilidad de implementación?		*	
¿Se ha alcanzado un grado adecuado de modularidad?	*		
¿El diseño es de baja complejidad?	*		
¿El estilo de presentación y el nivel de detalle son consistentes ante todo el documento?	*		
¿Son las funciones diseñadas implementables con los recursos disponibles?	*		

4. Problemas detectados

Se describen en forma detallada los problemas detectados tanto en el producto como en el proceso de elaboración del mismo, y se plantean las sugerencias de corrección para la próxima versión del Producto.

4.1. Falta mapeo entre modelo de diseño y modelo de implementación

No se especifica para cada una de las entidades del modelo de diseño cual es el elemento de implementación que le corresponde. Por ejemplo, que objetos implementan la funcionalidad de optimización de muestreo.

4.1.1. Sugerencia de corrección

Indicar la trazabilidad entre las entidades de diseño del Modelo de Diseño y los componentes del Modelo de implementación.

4.2. Bajo nivel de validación entre capas

No se protegieron los recursos más críticos mediante una alta validación entre capas.

4.2.1. Sugerencia de corrección

Revisado los requerimientos no funcionales, se constato que la seguridad no formaba parte de los mismos, por tal motivo al momento de definir la arquitectura la seguridad no fue tomada en cuenta.

4.3. Alta cantidad de parámetros en las firmas de operaciones

Existen operaciones con una alta cantidad de parámetros que dificultan la mantenibilidad del código.

4.3.1. Sugerencia de corrección

Diseñar datatype de forma de encapsular los parámetros de las operaciones, facilitando la mantenibilidad del código.

5. Evaluación

Los productos se encuentran en un estado general correcto, los documentos están claros y concisos, aunque se deben realizar las correcciones a los errores detectados.

5.1. Estado actual del Producto

Se realizaran aquellos cambios sugeridos en el informe y que el equipo crea conveniente realizar. En general los documentos están bien redactados y tanto la arquitectura como el diseño están bien definidos.

5.2. Acciones a tomar

Por decisión del equipo se realizaran las correcciones sugeridas en el punto 4.3

Documento de Evaluación y Ajuste del Plan de Calidad

Versión 2.0

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
31/01/2013	2.0	Creación del documento	Nicolás Oliveri

Contenido

1. ACTIVIDADES PREVISTAS EN EL PLAN DE CALIDAD	277
2. DESVIACIONES ENCONTRADAS	277
3. MEDICIONES	277
4. EVALUACIÓN Y AJUSTES.....	277
4.1. REVISIONES PENDIENTES.....	277

1. Actividades previstas en el Plan de Calidad

Actividad	Fase cuando se realiza
Realizar Revisión Técnica Formal	Elaboración
Revisar el ajuste al proceso	Elaboración
Evaluación y ajuste del Plan de Calidad	Elaboración
Evaluar la Calidad de los Productos	Elaboración

2. Desviaciones Encontradas

No se han encontrado desviaciones a lo propuesto en el plan de calidad. Todas las actividades marcadas para esta fase se han realizando.

3. Mediciones

Se han realizado todas las actividades planificadas en el plan para la fase actual.

4. Evaluación y Ajustes

La evaluación de la calidad del proceso hasta el momento es satisfactoria, pues se han realizado todas las actividades planificadas para la fase actual.

4.1. Revisiones pendientes

No hay revisiones pendientes.

Informe de Revisión Técnica Formal (RTF)

Versión 3.0

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
15/05/2013	3.0	Creación del documento	Nicolás Oliveri

Contenido

1. PRODUCTO REVISADO.....	280
1.1. NOMBRE Y VERSIÓN DEL PRODUCTO REVISADO	280
1.2. PARTICIPANTES DE LA REVISIÓN	280
1.3. REFERENCIAS	280
1.4. TÉCNICA UTILIZADA.....	280
2. OBJETIVOS DE LA RTF.....	280
3. PROBLEMAS DETECTADOS.....	280
3.1. FALTA DE COMENTARIOS EXPLICATIVOS EN OPERACIONES IMPLEMENTADAS ..	280
3.1.1. <i>Sugerencia de corrección</i>	280
3.2. NOMENCLATURA INCORRECTA EN NOMBRES DE VARIABLES Y OPERACIONES ..	280
3.2.1. <i>Sugerencia de corrección</i>	280
4. EVALUACIÓN	281
4.1. ESTADO ACTUAL DEL PRODUCTO	281
4.2. ACCIONES A TOMAR	281

1. Producto revisado

1.1. Nombre y Versión del Producto revisado

Se realizó el RFT sobre el código del sistema desarrollado.

1.2. Participantes de la revisión

Gonzalo Parente

Martin Varela

Nicolás Oliveri

1.3. Referencias

Estándar de implementación [1].

1.4. Técnica utilizada

Revisión estática del código fuente a través de la lectura del mismo, corroborando que el código respeta el estándar definido en [1].

2. Objetivos de la RTF

El objetivo de esta revisión formal es detectar errores en la calidad del código implementado, para ello se debe corroborar que se cumpla con el estándar establecido en [1], señalando las posibles desviaciones detectadas.

3. Problemas detectados

Se describen en forma detallada los problemas detectados tanto en el producto como en el proceso de elaboración del mismo, y se plantean las sugerencias de corrección para la próxima versión del Producto.

3.1. Falta de comentarios explicativos en operaciones implementadas

Se encontraron operaciones que no tenían comentarios que explicaran su funcionamiento y objetivo de las mismas.

3.1.1. Sugerencia de corrección

Se deben agregar comentarios en las operaciones que aun no los tengan

3.2. Nomenclatura incorrecta en nombres de variables y operaciones

Hay nombres de procedimientos y nombres de variables que no siguen el estándar definido en [1].

3.2.1. Sugerencia de corrección

Cada implementador deberá revisar el código que ha desarrollado y evaluando el impacto que tenga, corregir los nombres de los procedimientos que no cumplan con el estándar según documento [1].

4. Evaluación

4.1. Estado actual del Producto

El producto se encuentra en un estado general correcto, pues se respeta considerablemente el estándar de implementación [1], aunque se deben realizar las correcciones a los errores detectados.

4.2. Acciones a tomar

La mayoría de las desviaciones encontradas fueron corregidas al momento de la creación de este documento, las restantes serán corregidas en la brevedad por cada implementador, pues todos están en conocimiento al encontrarnos los tres integrantes del equipo realizando la revisión.

Informe de Revisión Técnica Formal (RTF)

Versión 4.0

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
15/05/2013	4.0	Creación del documento	Nicolás Oliveri

Contenido

1. PRODUCTO REVISADO.....	284
1.1. NOMBRE Y VERSIÓN DEL PRODUCTO REVISADO	284
1.2. PARTICIPANTES DE LA REVISIÓN	284
1.3. REFERENCIAS	284
1.4. TÉCNICA UTILIZADA.....	284
2. OBJETIVOS DE LA RTF.....	284
3. PROBLEMAS DETECTADOS.....	284
3.1. FALTA AYUDA DE CONTEXTO EN INTERFAZ DEL MODULO CARACTERIZACIÓN DE LA VARIABILIDAD TEMPORAL	284
3.1.1. <i>Sugerencia de corrección</i>	284
4. EVALUACIÓN	284
4.1. ESTADO ACTUAL DEL PRODUCTO	284
4.2. ACCIONES A TOMAR	284

1. Producto revisado

1.1. Nombre y Versión del Producto revisado

Se realizo el RFT sobre la interfaz del sistema.

1.2. Participantes de la revisión

Gonzalo Parente

Martin Varela

Nicolás Oliveri

1.3. Referencias

1.3.1 Pautas para interface de usuario_v1.0 [1].

1.4. Técnica utilizada

Se revisaron las interfaces verificando que cumplen los aspectos detallados en el documento [1]

2. Objetivos de la RTF

El objetivo de esta revisión formal es detectar errores en la calidad de las interfaces del sistema implementado, para ello se debe corroborar que se cumpla con el estándar establecido en [1], señalando las posibles desviaciones detectadas.

3. Problemas detectados

Se describen en forma detallada los problemas detectados tanto en el producto como en el proceso de elaboración del mismo, y se plantean las sugerencias de corrección para la próxima versión del Producto.

3.1. Falta ayuda de contexto en interfaz del modulo Caracterización de la variabilidad temporal

Falta ayuda de contexto en interfaz del modulo Caracterización de la variabilidad temporal.

3.1.1. Sugerencia de corrección

Se debe agregar la ayuda de contexto en la interfaz del modulo Caracterización de la variabilidad temporal.

4. Evaluación

4.1. Estado actual del Producto

El producto de encuentra en un estado general correcto, pues se respeto considerablemente el estándar establecido en [1], aunque se debe realizar la corrección al error detectado.

4.2. Acciones a tomar

La desviación encontrada fue corregida al momento de la creación de este documento.

Documento de Evaluación y Ajuste del Plan de Calidad

Versión 3.0

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
16/05/2013	3.0	Creación del documento	Nicolás Oliveri.

Contenido

1. ACTIVIDADES PREVISTAS EN EL PLAN DE CALIDAD	287
2. DESVIACIONES ENCONTRADAS	287
3. MEDICIONES	287
4. EVALUACIÓN Y AJUSTES.....	287
4.1. REVISIONES PENDIENTES.....	287

1. Actividades previstas en el Plan de Calidad

Actividad	Fase cuando se realiza
Realizar Revisión Técnica Formal	Construcción
Revisar el ajuste al proceso	Construcción
Evaluación y ajuste del Plan de Calidad	Construcción
Evaluar la Calidad de los Productos	Construcción

2. Desviaciones Encontradas

No se han encontrado desviaciones a lo propuesto en el plan de calidad. Todas las actividades marcadas para esta fase se han realizando.

3. Mediciones

Se han realizado todas las actividades planificadas en el plan para la fase actual.

4. Evaluación y Ajustes

La evaluación de la calidad del proceso hasta el momento es satisfactoria, pues se han realizado todas las actividades planificadas para la fase actual.

4.1.Revisiones pendientes

No hay revisiones pendientes.

Informe Final de SQA

Versión 1.0

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
08/06/2013	1.0	Creación del documento	Nicolás Oliveri

Contenido

1. RESULTADOS FINALES DE SQA	290
1.1. PLANIFICADO VS. REALIZADO	290
1.2. CANTIDAD DE ERRORES ENCONTRADOS	291
1.2.1. <i>Especificación de Requerimientos</i>	291
1.2.2. <i>Diseño de arquitectura</i>	291
1.2.3. <i>Modelo de diseño</i>	291
1.3. GRADO DE APEGO AL PROCESO (AJUSTE AL PROCESO)	292
1.3.1. <i>Requerimientos</i>	292
1.3.2. <i>Diseño</i>	292
1.3.3. <i>Implementación</i>	292
1.3.4. <i>Verificación</i>	293
1.3.5. <i>Implantación</i>	293
1.3.6. <i>Gestión del Proyecto</i>	293
1.3.7. <i>Gestión de Calidad</i>	294
1.3.8. <i>Gestión de Configuración</i>	294
1.3.9. <i>Comunicación</i>	294
2. EVALUACIÓN FINAL.....	295
2.1. FASE INICIAL	295
2.1.1. <i>Primera Iteración</i>	295
2.1.2. <i>Segunda Iteración</i>	295
2.2. FASE DE ELABORACIÓN.....	296
2.2.1. <i>Primera iteración</i>	296
2.3. FASE DE CONSTRUCCIÓN.....	296
2.3.1. <i>Primera iteración</i>	296
2.4. FASE DE TRANSICIÓN.....	297
2.4.1. <i>Primera iteración</i>	297

1. Resultados Finales de SQA

En esta sección se detallan las mediciones sobre las actividades realizadas por el Responsable de SQA a lo largo del proyecto en cuanto a planificación vs. realizado, errores encontrados, cantidad de revisiones por documento o producto, grado de ajuste al proceso.

1.1. Planificado vs. Realizado

Actividad Planificada	Fase
Identificar las Propiedades de Calidad	Inicial
Revisar las entregas	Inicial, Elaboración, Construcción, Transición
Planificar la Calidad	Inicial
Elaboración del Plan de Calidad	Inicial
Realizar Revisión Técnica Formal	Elaboración y Construcción
Revisar el ajuste al proceso	Inicial, elaboración y construcción
Evaluación y ajuste del Plan de Calidad	Elaboración y construcción
Evaluar la Calidad de los Productos	Inicial, Elaboración, Construcción, Transición
Evaluación final de Calidad	Transición

Actividad Realizada	Fase
Identificar las Propiedades de Calidad	Inicial
Revisar las entregas	Inicial, Elaboración, Construcción, Transición
Planificar la Calidad	Inicial
Elaboración del Plan de Calidad	Inicial
Realizar Revisión Técnica Formal	Elaboración y Construcción
Revisar el ajuste al proceso	Inicial, elaboración y construcción
Evaluación y ajuste del Plan de Calidad	Elaboración y construcción
Evaluar la Calidad de los Productos	Inicial, Elaboración, Construcción, Transición
Evaluación final de Calidad	Transición

Se realizaron todas las actividades planificadas para cada una de las fases del proyecto.

1.2. Cantidad de errores encontrados

En las revisiones realizadas se verificaba si se cumplían los estándares de calidad establecidos. Si los errores eran de tipo de formato, se modifican y se comunicaban los cambios realizados. En cambio si el incumplimiento involucra mayores cambios, no se modifica, se notifica al responsable del documento, y las modificaciones necesarias se realizaban en forma conjunta.

Los productos revisados para los cuales se generaron informes de revisión fueron los identificados como más importantes en el proyecto.

A continuación se detallan los productos revisados que generaron informes y la cantidad de errores encontrados en cada uno, especificando la cantidad de veces que cada producto fue revisado (distintas versiones de los mismos).

1.2.1. Especificación de Requerimientos

Diseño de la arquitectura - Versión 1.1

Modelo de diseño - Versión 1.1

Versión: 1.1	revisado 1 veces	encontrados 3 errores

Versión: 2.1	revisado 1 veces	encontrados 0 errores

1.2.2. Diseño de arquitectura

Versión: 1.1	revisado 1 veces	encontrados 1 errores

Versión: 2.1	revisado 1 veces	encontrados 0 errores

1.2.3. Modelo de diseño

Versión: 1.1	revisado 1 veces	encontrados 2 errores

Versión: 2.1	revisado 1 veces	encontrados 0 errores

1.3. Grado de Apego al proceso (Ajuste al proceso)

El grado de apego a al proceso se valorará mediante la siguiente escala:

1-Alto

2-Medio

3-Bajo

Línea de trabajo	Apego
Requerimientos	Medio
Diseño	Alto
Implementación	Alto
Verificación	Medio
Implantación	Baja
Gestión de Proyecto	Media
Gestión. de Calidad	Media
Gestión de Configuración	Baja
Comunicación	Medio

1.3.1. Requerimientos

En esta línea de trabajo se logro un nivel medio de apego al proceso. Si bien se realizaron todas las actividades planificadas, no se cumplieron correctamente en tiempo, causando el principal atraso en el cronograma del proyecto. Este retraso se debió en mayor medida a la no disponibilidad del responsable del proyecto para validar los requerimientos. Aunque se había identificado este riesgo no fuimos capaces de mitigarlo correctamente.

A pesar de lo antes mencionado se lograron relevar completamente los requerimientos, sufriendo algunos de ellos modificaciones posteriores a los informes de revisión. Luego de la validación de los requerimientos se definió junto al responsable del proyecto un alcance, finalizando de esta manera la fase inicial del proyecto.

Además definió un glosario donde se explicaron términos utilizados en las distintas líneas de trabajo.

La interfaz de usuario que se construyo es una barra de herramientas que conserva el estilo estándar de ArcGIS tal como fue contemplado en los requerimientos.

En general se logro una buena calidad de los documentos, mediante las revisiones de los mismos, incluyendo para las más importantes revisiones formales.

1.3.2. Diseño

En esta línea de trabajo se obtuvo un alto nivel de apego al proceso. En la fase de elaboración se realizo el diseño y la arquitectura del producto en forma completa. Además se realizaron pruebas de implementación para mitigar riesgos de la arquitectura y validarla. El diseño y la arquitectura fueron pensadas de manera que el producto sea modular y extensible, teniendo en cuenta además la performance de las diferente funcionalidades a implementar.

1.3.3. Implementación

En esta línea de trabajo se logró un nivel medio de apego al proceso. Se cumplieron todas las actividades planificadas pero con retrasos en el cronograma.

Los objetivos se cumplieron, aunque los mismos sufrieron retrasos por falta de conocimiento en la implementación utilizando la API provista de ArcGIS. Esto fue un riesgo identificado debidamente al principio el proyecto, para mitigar el mismo se aprovecho el tiempo en el cual no se pudieron validar los requerimientos, realizándose en dicho lapso ensayos de implementación, buscando familiarizarse con la API e intentando mitigar riesgos técnicos. Luego se logro implementar todos los requerimientos funcionales definidos en el alcance del producto.

En cuanto a la verificación unitaria, se hizo de manera informal, es decir no se documentaban las pruebas realizadas formalmente, pero cada incidente encontrado al realizar las pruebas era registrado en el sistema de gestión de incidentes (Gestión de incidentes.xls), en cual nos permitía tener un sistema de seguimiento de incidentes, ayudándonos a reportar, administrar y analizar los incidentes reportados.

Aunque no fue provisto ni requerido por el cliente, se definió un estándar de implementación con el fin de facilitar su extensibilidad y mantenimiento a lo largo del tiempo. El apego a este estándar fue considerable.

1.3.4. Verificación

En términos generales el grado de apego al proceso en esta disciplina fue medio, debido a que las pruebas unitarias no fueron documentadas formalmente, aunque los incidentes encontrados en las mismas fueron reportados en el sistema de gestión tal como fue mencionado en el punto anterior.

Se realizaron planillas y gráficas en las que se puede apreciar los incidentes detectados mediante la ejecución de las pruebas unitarias y las pruebas diseñadas para cada funcionalidad.

Además en el informe final de verificación se mencionan los incidentes que no fueron solucionados, indicando una posible solución para los mismos.

1.3.5. Implantación

En esta línea se obtuvo un buen grado de apego al proceso. A pesar de ser un usuario técnico que utilizará nuestro sistema, se realizó un manual de usuario explicando el uso de cada funcionalidad implementada.

Se realizó un plan para llevar a cabo la implantación, la misma cuenta con un cronograma a seguir, los recursos necesarios y un reporte final de pruebas de aceptación.

1.3.6. Gestión del Proyecto

En esta línea de trabajo las actividades fueron llevadas a cabo con un buen grado de apego al proceso.

Sin embargo se tuvo inconvenientes en las estimaciones, esto se ve claramente reflejado en el cronograma del proyecto. Las razones más importantes fueron el retraso en el tiempo estimado para la validación de los requerimientos (se tuvo que ajustar el plan del proyecto) y las estimaciones en las actividades de implementación, pues en algunos

casos el esfuerzo necesario era mayor por falta de conocimiento en el uso de la API de ArcGIS.

El seguimiento del proyecto en general fue bueno, realizando ajustes en los planes en los momentos que fueron necesarios.

1.3.7. Gestión de Calidad

En esta línea de trabajo se logro un alto grado de apego al proceso, pues se pudo seguir en su totalidad las actividades previstas en el plan de calidad.

Se realizaron las Revisiones Técnicas Formales de los documentos que resultan más importantes para el proyecto y sobre otros productos relevantes como los son el código fuente y las interfaces, utilizando los estándares y/o especificaciones definidas para los productos. Además se realizaron revisiones informales en los demás documentos, no generando documentos con los resultados obtenidos pero si logrando controlar los atributos de calidad de los mismos.

1.3.8. Gestión de Configuración

Esta línea de trabajo tuvo un bajo nivel de apego. Por el tamaño del grupo se decidió no realizar documentación formal de la misma.

1.3.9. Comunicación

La comunicación en el grupo fue muy buena, en gran medida esto se debe a que se definieron los canales adecuados y al tamaño del grupo.

Se realizo además una encuesta de satisfacción del cliente y luego se evaluó la misma documentando los resultados.

2. Evaluación Final

2.1. Fase Inicial

2.1.1. Primera Iteración

2.1.1.1. Desarrollo del Proyecto:

Se realizaron reuniones informativas sobre el proyecto junto a otro grupo. Se elaboro el estado del arte para el proyecto. Además se creó el plan del proyecto

2.1.1.2. Desarrollo de la línea de trabajo Calidad:

Se realizaron revisiones sobre el documento de estado del arte para controlar los atributos de calidad del mismo.

2.1.2. Segunda Iteración

2.1.2.1. Desarrollo del Proyecto:

Se comenzó con el relevamiento de requerimientos en reuniones compartidas junto a otro grupo.

Se definieron el lenguaje de programación y la herramienta de desarrollo para implementar el sistema.

Se identificaron los riesgos del proyecto y para cada uno se definieron: ranking, descripción, probabilidad de ocurrencia, impacto, estrategia de mitigación, monitoreo y contingencia.

Se especificaron los requerimientos y se validaron los mismos. Cabe aclarar que la validación tuvo un retraso considerable por la no disponibilidad del responsable del proyecto.

Se definió el alcance del sistema y se corrigió el cronograma del proyecto realizando los ajustes necesarios.

Se crearon el plan de verificación y validación y el plan de calidad del proyecto.

2.1.2.2. Desarrollo de la línea de trabajo Calidad:

Se realizaron revisiones sobre los documento para controlar los atributos de calidad de los mismo, para alguno de ellos la revisión fue formal, obtenido como resultado un documento informativo con los errores detectados y una sugerencias de corrección.

Además se creó el plan de calidad del proyecto

Se realizo un informe de revisión de ajuste al proceso.

2.2. Fase de Elaboración

2.2.1. Primera iteración

2.2.1.1. Desarrollo del Proyecto:

Se definió el diseño y la arquitectura del sistema. Además se diseñaron los casos de uso y se comenzó con la construcción de las funcionalidades críticas de los mismos para validar la arquitectura.

También se realizaron estimaciones y mediciones para identificar posibles ajustes en el cronograma del proyecto.

2.2.1.2. Desarrollo de la línea de trabajo Calidad:

Se realizaron revisiones sobre los documentos para controlar los atributos de calidad de los mismos.

Se realizaron revisiones técnico formal de la descripción de la arquitectura y el modelo de diseño del sistema, incluyendo checklist para ayudar a descubrir errores en la construcción de nuestro diseño y arquitectura.

Se realizó un informe de revisión de ajuste al proceso.

2.3. Fase de Construcción

2.3.1. Primera iteración

2.3.1.1. Desarrollo del Proyecto:

Se construyó el sistema, implementando todas sus funcionalidades.

En base a una reunión con el responsable del proyecto para mostrar los adelantos en la implementación y evaluar la conformidad del mismo sobre el trabajo realizado, surgieron cambios en la fórmula de variabilidad utilizada en el módulo de diseño de muestreo y se debió revisar la fórmula de error utilizada en el módulo de optimización de muestreo. Además se tuvo que validar la utilización del método IDW como método de interpolación, pues el método Kriging no nos fue posible implementarlo utilizando las funcionalidades provistas en la API de ArcGIS.

Se diseñaron los casos de prueba a verificar, utilizando los casos de uso y sus escenarios y condiciones particulares de cada uno. Se ejecutaron la totalidad de los casos de prueba diseñados y los incidentes encontrados fueron reportados en el sistema de gestión de incidentes.

Se realizaron revisiones en el código fuente y las interfaces del sistema para verificar que cumplieran con los estándares definidos.

2.3.1.2. Desarrollo de la línea de trabajo Calidad:

Se realizaron revisiones sobre los documentos generados en esta fase para controlar los atributos de calidad de los mismos.

Se realizaron revisiones técnico formal sobre el código fuente y las interfaces del sistema para verificar que se cumplía con los estándares establecidos de implementación.

Se realizó un informe de revisión de ajuste al proceso.

2.4. Fase de transición

2.4.1. Primera iteración

2.4.1.1. Desarrollo del Proyecto:

Se realizaron los informes finales de gestión de proyecto, gestión de calidad, verificación y validación.

Se validó con el responsable del proyecto que el producto implementado cumple con los requerimientos establecidos y luego se hizo entrega del mismo, instalándose en la infraestructura brindada por el responsable del proyecto. Además se entregó documentación que respalda la construcción del sistema y un manual de usuario que indicara las funcionalidades que posee el sistema y una descripción de uso de cada una de ellas.

2.4.1.2. Desarrollo de la línea de trabajo Calidad:

Se realizaron revisiones sobre los documentos generados en esta fase para controlar los atributos de calidad de los mismos.

Se realizó el informe final de calidad y se comienza a planificar y elaborar el informe final de proyecto de grado y la presentación del sistema, en coordinación con supervisor y el responsable del proyecto.

COMUNICACIÓN

Documento Informativo

Versión 1.0

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
10/05/2012	1.0	Creación del documento	Martin Varela, Nicolás Oliveri, Gonzalo Parente

Contenido

1. OBJETIVO	300
2. HERRAMIENTAS DE COMUNICACIÓN.....	300
2.1. GMAIL	300
2.2. GOOGLE CALENDAR.....	300
2.3. GOOGLE TALK.....	300
2.4. DROPBOX	300
2.5. TELEFONÍA CELULAR.....	300

1. Objetivo

Este documento tiene como propósito presentar de manera descriptiva las herramientas de comunicación que serán utilizadas en el proyecto. Estas herramientas se utilizarán para la comunicación interna entre los integrantes del equipo, como así también para las comunicaciones con el responsable del proyecto Mercedes Berterretche y el supervisor del mismo Omar Viera.

2. Herramientas de comunicación

A continuación describiremos las herramientas y tecnologías que se ha decidido utilizar para llevar a cabo el proyecto.

2.1.Gmail

Sera el servicio de correo electrónico. Lo utilizaremos para intercambiar información y coordinar reuniones necesarias con el supervisor del proyecto Omar Viera y la responsable del proyecto Mercedes Berterretche

2.2.Google Calendar

Nos permite tener un calendario compartido con todos los integrantes del equipo, donde se registran los principales eventos, hitos y trabajos a realizar, de forma de cumplir la planificación establecida

2.3.Google talk

Utilizada para la comunicación instantánea entre los integrantes del equipo, en mayor medida para comunicaciones con el integrante del equipo que reside en Paysandú, facilitando intercambios puntuales y discusiones del día a día en horas preestablecidas de contacto.

2.4.Dropbox

Es un servicio de alojamiento de archivos en la nube, permite a los usuarios almacenar y sincronizar archivos en línea y entre computadoras. Se utilizara para compartir archivos y carpetas entre los integrantes del equipo.

2.5.Telefonía Celular

Se utiliza en las comunicaciones interna del equipo, cuando las mismas sean de prioridad alta o se precise de manera urgente.

Encuesta de Satisfacción del Cliente

Pregunta 1

¿Como se siente con respecto al trabajo del equipo durante la etapa de relevamiento de requerimientos?

- ☐ Muy Satisfecho
- ☒ Satisfecho
- ☐ Indiferente
- ☐ Insatisfecho
- ☐ Muy Insatisfecho

Comentarios

Pregunta 2

¿Como calificaría los métodos utilizados por el equipo de trabajo (Reuniones, documentos, Demos, etc.) para el relevamiento de los requerimientos con usted?

- ☐ Muy Satisfecho
- ☒ Satisfecho
- ☐ Indiferente
- ☐ Insatisfecho
- ☐ Muy Insatisfecho

Comentarios

Pregunta 3

¿Como calificaría los métodos utilizados por el equipo de trabajo (Reuniones, documentos, Demos, etc.) para la validación de los requerimientos con usted?

- ☐ Muy Satisfecho
- ☒ Satisfecho

- ☐ Indiferente
- ☐ Insatisfecho
- ☐ Muy Insatisfecho

Comentarios

Pregunta 4

¿Cuán satisfecho se considera con la comunicación con el equipo de trabajo?

- ☒ Muy Satisfecho
- ☐ Satisfecho
- ☐ Indiferente
- ☐ Insatisfecho
- ☐ Muy Insatisfecho

Comentarios

Pregunta 5

¿Cuán satisfecho se considera con la solución técnica encontrada por el equipo de trabajo?

- ☐ Muy Satisfecho
- ☒ Satisfecho
- ☐ Indiferente
- ☐ Insatisfecho
- ☐ Muy Insatisfecho

Comentarios

Pregunta 6

¿Como calificaría la flexibilidad del equipo de trabajo frente a los cambios por usted solicitados?

- ☐ Muy Satisfecho
- ☒ Satisfecho

- ☐ Indiferente
- ☐ Insatisfecho
- ☐ Muy Insatisfecho

Comentarios

Pregunta 7

¿Como calificaría la organización y gestión del equipo de trabajo durante el desarrollo del proyecto?

- ☐ Muy Satisfecho
- ☒ Satisfecho
- ☐ Indiferente
- ☐ Insatisfecho
- ☐ Muy Insatisfecho

Comentarios

Pregunta 8

¿Cuán satisfecho se considera con la funcionalidad del producto desarrollado?

- ☒ Muy Satisfecho
- ☐ Satisfecho
- ☐ Indiferente
- ☐ Insatisfecho
- ☐ Muy Insatisfecho

Comentarios

Pregunta 9

¿Cuán satisfecho se considera con la disponibilidad y confiabilidad del producto implantado por el equipo de trabajo?

- ☐ Muy Satisfecho
- ☒ Satisfecho
- ☐ Indiferente
- ☐ Insatisfecho
- ☐ Muy Insatisfecho

Comentarios

Pregunta 10

¿Cuán satisfecho se considera con la integración del producto desarrollado a su entorno de trabajo?

- ☐ Muy Satisfecho
- ☒ Satisfecho
- ☐ Indiferente
- ☐ Insatisfecho
- ☐ Muy Insatisfecho

Comentarios

Pregunta 11

¿Cuán satisfecho se considera con la efectividad y facilidad de uso de los mecanismos de ayuda del producto desarrollado?

- ☐ Muy Satisfecho
- ☒ Satisfecho
- ☐ Indiferente
- ☐ Insatisfecho
- ☐ Muy Insatisfecho

Comentarios

Pregunta 12

¿Cuán satisfecho se considera con lo amigable a la operación del usuario del producto desarrollado?

- ☐ Muy Satisfecho
- ☒ Satisfecho
- ☐ Indiferente
- ☐ Insatisfecho
- ☐ Muy Insatisfecho

Comentarios

Pregunta 13

¿Considerando todos los aspectos de su experiencia en este proyecto, cuán satisfecho se considera con el producto obtenido?

- ☐ Muy Satisfecho
- ☒ Satisfecho
- ☐ Indiferente
- ☐ Insatisfecho
- ☐ Muy Insatisfecho

Comentarios

Implementación de herramienta de optimización de muestreo para agricultura en un sistema de información geográfico

Evaluación de satisfacción del cliente

Versión 1.0

Historia de revisiones

Fecha	Versión	Descripción	Autor
01/09/2013	1.0	Creación del documento	Martin Varela, Nicolás Oliveri, Gonzalo Parente

Contenido

1. OBJETIVOS.....	309
2. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LAS ENCUESTAS	309
3. EVALUACIÓN DE LA ENCUESTA	309
4. CONCLUSIONES.....	309

5. Objetivos

El objetivo de este documento es realizar una evaluación de la satisfacción del cliente.

6. Métodos de Evaluación de las Encuestas

A cada respuesta posible del Cliente se le asigna un valor predeterminado, el cual se usa luego para la evaluación total de Satisfacción del Cliente.

Estos valores se especifican a continuación:

Respuesta del Cliente	Valor
Muy Satisfecho	100
Satisfecho	75
Indiferente	50
Insatisfecho	25
Muy Insatisfecho	0

7. Evaluación de la encuesta

Se realiza mediante el promedio matemático de los valores asignados a las respuestas del cliente.

$$\frac{2 \times 100 + 11 \times 75 + 0 \times 50 + 0 \times 25 + 0 \times 0}{13} = 78.84$$

Por lo tanto el resultado final de la evaluación del cliente corresponde a Satisfecho

8. Conclusiones

El resultado de la encuesta se encuentra dentro de los parámetros esperados por el grupo. El cliente destacó especialmente la comunicación con el equipo de trabajo y las funcionalidades del producto desarrollado.

En conclusión la satisfacción del cliente fue alta, situándose su nivel entre satisfecho y muy satisfecho.

**Dpto. IO
Instituto de Computación
Facultad de Ingeniería
Universidad de la República**



**IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACIÓN DE MUESTREO PARA
AGRICULTURA EN UN SISTEMA DE
INFORMACIÓN GEOGRÁFICO**

Estado del arte

Montevideo, Uruguay, agosto de 2012.

Autores:

Nicolás Oliveri Zitto
Gonzalo Parente Gadea
Martin Varela Sosa Dias

Supervisor:

Omar Viera

Co-supervisor:

Martin Varela

Responsable:

Mercedes Berterretche

Resumen

En el presente documento se pretende presentar el marco teórico necesario para la realización del proyecto de grado de la carrera de ingeniería en computación. Los conceptos tratados surgen de la investigación realizada por el grupo acerca del estado del arte en las áreas vinculadas al objetivo del proyecto. Se comenzará el documento con las definiciones básicas tanto de optimización como de los problemas de ubicación-asignación. Se define la agricultura de precisión, sus inicios y los objetivos que se buscan con la implementación de esta técnica. Se define el concepto de variabilidad del suelo, sus tipos, formas y la correlación existente entre ellas. Se plantea la importancia de una correcta elección de la escala en la etapa de muestreo. Se define el concepto de muestreos discretos y se enumeran los diseños más usados tales como en grillas, por juzgamientos, adaptativos y muestreo dirigido. Se realiza una breve descripción de los mapas de rendimientos, en particular el procedimiento para su generación, su aplicación en la definición de zonas homogéneas y sus beneficios en la visualización de la variabilidad temporal y espacial. Se define la técnica de análisis fractal, que es relativamente nueva comparándola con las técnicas estadísticas básicas, y sus aplicaciones en la agricultura para analizar la variabilidad de los suelos y el rendimiento de los cultivos. Se define el concepto de geoestadística y sus orígenes. Además, se describen sus etapas y su aplicación en la agricultura.

Contenido

RESUMEN.....	2
CONTENIDO	3
OPTIMIZACIÓN	5
Motivación.....	5
Definición.....	5
Ubicación-Asignación (Location-Allocation)	5
AGRICULTURA DE PRECISIÓN	6
VARIABILIDAD.....	7
Relación entre la variabilidad espacial y temporal.....	9
Escala	10
MUESTREO.....	12
Muestreo discreto.....	12
Muestreo en grillas.....	12
Muestreo por juzgamiento.....	12
Muestreo adaptativo	13
Muestreo dirigido.....	13
MAPAS DE RENDIMIENTO	15
FRACTALES.....	16
Análisis Fractal	16
Dimensión Fractal.....	17
Multifractal.....	17
GEOESTADÍSTICA.....	19
Origen y Definición	19
Aplicación en la Agricultura.....	19
Etapas de geoestadística	19
Definiciones básicas.....	20
Variable regionalizada.....	20
Proceso estocástico.....	20
Momentos de una Variable Regionalizada	20
Estacionariedad	20
Estacionariedad de Segundo Orden.....	21
Estacionariedad Débil o Intrínseca.....	21
Anisotropía	21

Anisotropía geométrica	21
Anisotropía zonal	22
Análisis Exploratorio de Datos	22
Correlación Espacial Muestral y Ajuste de Modelos	23
Variograma y semivariograma.....	23
Modelos teóricos de semivarianza	25
Modelo Esférico	25
Modelo Exponencial.....	25
Modelo Gaussiano	25
Modelo Monómicos	26
Modelo de Independencia.....	26
Predicción Espacial	27
Kriging Ordinario.....	28
Kriging Simple.....	28
Kriging en Bloques	29
Kriging Universal.....	29
Kriging Residual	29
Kriging Indicador	30
Kriging Log-Normal	30
Kriging multi-gaussiano	31
REFERENCIAS.....	32

Optimización

Motivación

Existe una enorme variedad de actividades en el mundo cotidiano que pueden ser útilmente descritas como sistemas, desde sistemas físicos tales como una planta industrial hasta entidades teóricas tales como los modelos económicos. La operación eficiente de esos sistemas usualmente requiere un intento por optimizar varios índices que miden el desempeño del sistema. Algunas veces, esos índices son cuantificados y representados como variables algebraicas. Entonces se deben encontrar valores para esas variables, que maximicen la ganancia o beneficio del sistema, o bien minimicen los gastos o pérdidas. Se asume que las variables dependen de ciertos factores.

Algunos de esos factores a veces están bajo el control (al menos parcialmente) del analista responsable del desempeño del sistema. [15]

Definición

Se puede definir como optimización al proceso de seleccionar, a partir de un conjunto de alternativas posibles, aquella que mejor satisfaga el o los objetivos propuestos. Para resolver un problema de optimización se requieren dos etapas principales:

- Formulación del modelo
- Resolución y validación del modelo

La formulación del modelo de optimización no es un procedimiento formal estructurado, sino más bien es un proceso que requiere de experiencia y creatividad.

Una vez generado el modelo, la etapa siguiente es resolver y validar dicho modelo. Esta etapa puede considerarse suficientemente formalizada puesto que los modelos de problemas de optimización han sido muy estudiados y se han desarrollado innumerables métodos y estrategias para resolverlos. [16]

Ubicación-Asignación (Location-Allocation)

El objetivo de estos algoritmos es determinar las ubicaciones óptimas, partiendo de un conjunto de posibles ubicaciones, tomando en cuenta las restricciones y particularidades del problema a resolver.

En el área del muestreo agrícola, es posible optimizar la cantidad y ubicación de muestras a tomar, con el fin de mejorar el costo del muestreo, sin perder precisión en la caracterización del potrero. [17]

Agricultura de Precisión

La agricultura de precisión se puede definir como un conjunto de tecnologías que permiten la aplicación de insumos agrícolas de forma variable dentro de un mismo potrero en función del requerimiento o potencial de cada sector homogéneo predefinido dentro del mismo.

El uso de esta técnica busca como objetivos reducir de los costos de producción haciendo un uso más eficiente de los insumos, incrementar la productividad y minimizar el impacto ambiental.

Esta técnica tiene sus inicios en el comienzo mismo de la agricultura, tomando un desarrollo importante en la década de los años 70 con la aparición de los GPS en el campo militar (que luego fueron adaptados al uso civil) y el desarrollo de maquinaria agrícola que hacen posible el trabajo diferencial en cada sector homogéneo dentro de un potrero.

Variabilidad

Uno de los conceptos básicos en los que se sustenta la agricultura de precisión (de aquí en adelante AP) es la correcta identificación, descripción y medición de la variabilidad espacial y temporal del ambiente.

Las propiedades físicas y químicas del suelo pueden producir diferentes niveles de nutrientes disponibles para la planta incidiendo en el rendimiento del cultivo a fin de la cosecha. La variabilidad se puede dar en diferentes escalas desde unos centímetros hasta zonas regionales. Es de interés para la AP estudiar la variabilidad dentro un potrero haciendo más rentable el uso de la técnica a medida que la variabilidad es mayor.

Según *Bouma y Finke*, 1993 [2], la variabilidad del suelo emerge naturalmente a través de las interacciones complejas entre factores naturales y de manejo de los mismos. Los factores naturales son, entre otros, los involucrados en la formación del suelo como ser tiempo, topografía, pendientes, clima y actividad de organismos. El manejo del suelo como ser la fertilización, laboreo, rotación de cultivos afectan significativamente los patrones de variabilidad física y químicas del suelo.

Como se ha mencionado en los párrafos anteriores existen diferentes tipos de variabilidades como son natural, inducida, espacial y temporal.

Tipo	Característica	Ejemplos
Natural	Debido a las características naturales del suelo.	Características del suelo, del clima, de la topografía y de las especies vegetales y animales.
Inducida	Debida a las actividades de laboreo del suelo y la rotación de cultivos	Compactación en las cabeceras de los potreros debido a maquinaria agrícola, resistencia de ciertos cultivos por el uso indebido de algunos agroquímicos.
Espacial	Indica las variaciones que ocurren en diferentes localizaciones geográficas dentro de un mismo establecimiento, incluso dentro del mismo potrero y se determina mediante muestreo en diferentes sitios.	Diferentes niveles de un nutrientes en el suelo, diferencias en el rendimiento de un cultivo en distintas partes del potrero.
Temporal	Indica las variaciones que ocurren en el tiempo y se determina mediante muestreos en diferentes momentos, mediante mapas de rendimiento, fotos aéreas, etc.	Cambios en el clima, en el contenido de humedad del suelo o de un nutriente durante el ciclo del cultivo.

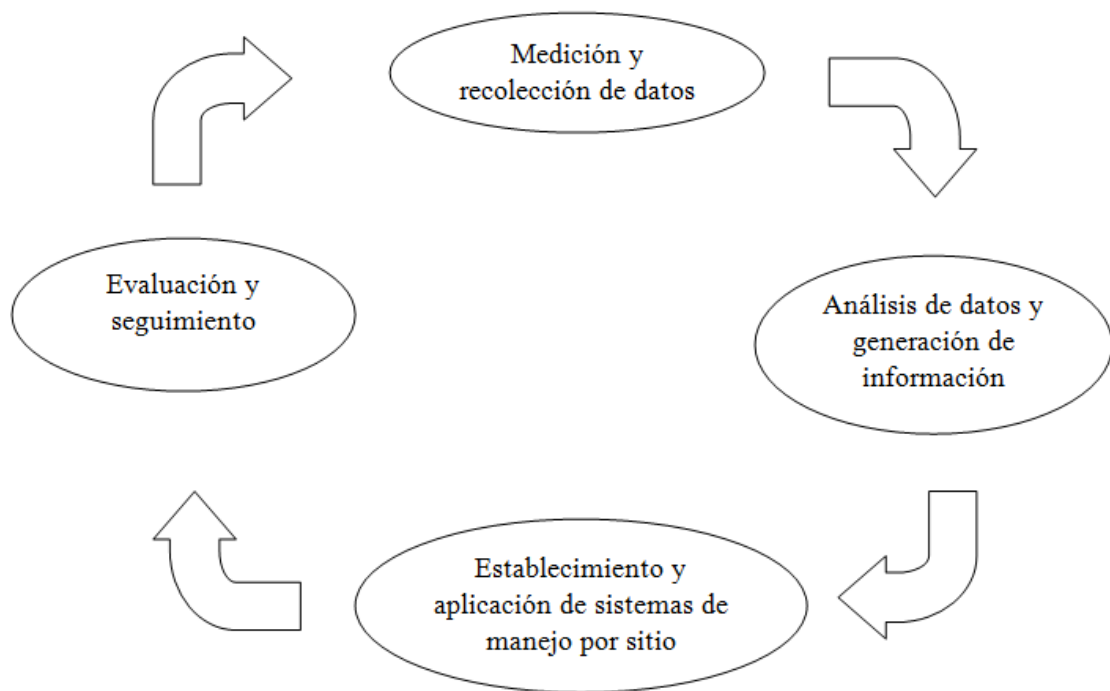
Además de la medición y estudio de la variabilidad de los diferentes parámetros, es importante no perder de vista y establecer los factores que tienen mayor incidencia en el rendimiento del cultivo y en aquellos en donde se tienen posibilidades de intervenir para ser controlados o modificados.

El manejo y la aplicación variable de nutrientes es una de las aéreas con mas desarrollo en la actualidad de la AP. Sin embargo el clima (temperaturas, regímenes de lluvia y niveles de

humedad) es uno de las fuentes más variables en la agricultura con grandes implicancias en los rendimientos de los cultivos y en condiciones de campo difícilmente podemos modificarlo salvo que se trate de un cultivo en condiciones controladas, bajo cubierta o bajo riego.

La AP se compone de cuatro grandes etapas las cuales forman un ciclo que continuamente se está actualizando y enriqueciendo en base a la información a lo largo del tiempo. Las etapas son:

- 1.- Medición y recolección de datos
- 2.- Análisis de datos y generación de información
- 3.- Establecimiento y aplicación de sistemas de manejo por sitio
- 4.- Evaluación y seguimiento.



En nuestro trabajo nos centraremos en el punto 1.

Medición y recolección de datos

Esta es una etapa de particular importancia en la implementación dado que todo el trabajo posterior está basado en los datos relevados. La dificultad mayor pasa por establecer la correlación espacial de una o dos más variables dentro del potrero. *Senay et al. 1998* [1], clasificaron los métodos para medir la variabilidad a nivel de campo en mediciones continuas, mediciones discretas y mediciones remotas.

Dentro de las mediciones continuas podemos encontrar la determinación de mapas de rendimiento de un cultivo usando sensores en las cosechadoras con el apoyo de un sistema de posicionamiento global.

Las mediciones discretas en puntos específicos son las más usadas para estudios de suelo y seguimiento en el desarrollo de un cultivo.

Mientras que las mediciones remotas son aquellas que se realizan con la ayuda de satélites o aeronaves con sensores y pueden cubrir todo o gran parte del potrero. Dentro de estas mediciones podemos encontrar las fotos aéreas, imágenes satelitales, imágenes fluorescentes, de radar, etc.

Relación entre la variabilidad espacial y temporal

A partir de los años 90 cuando se comenzó a consolidar la asignación de rendimientos comerciales se esperaba que las partes de campo tuvieran un comportamiento similar a lo largo del tiempo. Larscheid y Blackmore desarrollaron un método para normalizar los diferentes años de manera de poder compararlos y realizar un estudio de las tendencias temporales.

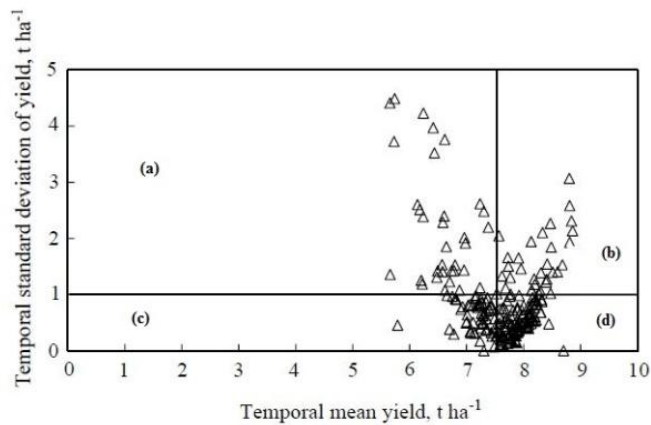
Blackmore et al. 2003 [11], realizaron un trabajo que analiza las tendencias temporales y espaciales en cuatro campos diferentes en sobre un histórico de seis años. Durante el análisis se discuten diferentes aspectos dentro de los que se encuentran el proceder en la recolección de datos de manera de eliminar errores (como desviaciones atípicas, terminaciones abruptas, ausencia de datos en algunos puntos, etc.), las formas en la que se presenta la estabilidad temporal, la dificultad para establecer el valor de umbral entre la estabilidad e inestabilidad.

Los autores realizaron una simplificación de los mapas de cada cosecha estandarizando los valores en una grilla de 20m. Valores más grandes de la grilla tienden suavizar los datos mientras que grillas más pequeñas tienden a ser más dependientes del número de puntos. Por un lado el mapa de tendencia espacial se realizó calculando la media aritmética en cada uno de los puntos de la grilla durante los seis años y luego se fueron dividiendo en clases de 1 ton/ha. Mientras que por otro lado, para el cálculo de la tendencia espacial se observó que existía una diferencia en los rendimientos de un año con otros, posiblemente relacionado a condiciones climáticas, consideraron importante separar estas desviaciones interanuales de los efectos espaciales temporales y definen una forma de calcular la varianza temporal en cada uno de los puntos.

$$\sigma_i^2 = \frac{\sum_{t=A_{inicial}}^{t=A_{final}} (Y_{t,i} - \bar{Y}_t)^2}{|A_{final} - A_{inicial}|}$$

Donde σ_i^2 es la variación temporal en el punto i de la grilla, t es el año, $Y_{t,i}$ es el rendimiento en el año a en el punto i, $\bar{Y}_t$ es la media aritmética del rendimiento en el año t y $A_{inicial}$, A_{final} son los años iniciales y finales de históricos respectivamente.

Según esta definición se tiene un valor de la variabilidad temporal, por un lado, bajo en zonas cuyos rendimientos siempre estén cerca de la media denominándolas zonas temporalmente estables. Por otro lado, un valor alto en donde los rendimientos a veces son altos y bajos



Relación entre la desviación estándar temporal y la media temporal [11].

respecto de la media, denominándolas zonas temporalmente inestables. Con toda esta información concluyo que en los campos en estudio se pueden dividir en áreas: (1) zonas de alto potencial: por encima de la media general para el campo, (2) zonas de bajo potencial: por debajo de la media general para el campo, (3) zonas estables: baja variabilidad espacial en el tiempo, (4) zonas inestables: alta variabilidad espacial en el tiempo. Con el rendimiento y la estabilidad que no son mutuo excluyentes nos quedan cuatro categoría de zonas, (a) Bajo potencial e inestable, (b) Alto potencial e inestable, (c) Bajo potencial y estable, y (d) Alto potencial y estable en el tiempo. En la siguiente figura se observa la representación de cada uno de los puntos de la grilla (simplificación del mapa inicial) dentro de cada una de las zonas. Los autores definen como inestable a los puntos cuando su desviación estándar es superior a 1 ton/ha.

Escala

Para realizar análisis en múltiples escalas, se pueden utilizar distintos métodos. Uno de ellos es utilizar una rejilla fija de muestras de puntos implementados en varios sitios separadas a distancias diferentes. De esta manera se puede evaluar los patrones a diferentes escalas agrupando los datos en unidades discretamente definidas de diferentes escalas y particionado la variación entre esas escalas. Una ventaja de este método es que utiliza todo el conjunto de datos recogidos en todos los análisis realizados. [12]

Otro método, que se aplica generalmente con los datos de sensores remotos, es promediar los puntos de datos vecinos de alguna grilla de medición fija, en zonas cada vez más grande de la grilla. Se debe tener en cuenta que para datos cuantitativos, hay pérdida de información, debido a sucesivos promedios y a que la cantidad de datos utilizados en escalas mayores es notoriamente menor que en la menor escala. Además, este procedimiento, sirve más bien para testear como el incremento de la resolución de una misma área, altera nuestra perspectiva de la propiedad de interés. Para su utilización como prueba consistente de un proceso a través de escalas, es necesario que en los paisajes medidos la relación espaciado-extensión permanezca constante. [12]

Los semivariogramas son sólo de carácter informativo para la escala particular en la que se miden, además deberíamos esperar que sean dominados por las influencias de los procesos dominantes que actúan en esa escala. Western y Blöschl realizaron en 1999 un estudio en el que tomando un único conjunto de datos, variaron los tres parámetros de medición: extensión (área total a través del cual se realizan las mediciones), espaciado (distancia entre puntos de medición adyacentes) y support (área sobre la cual se integra una medición individual, por ejemplo : volumen de una muestra de suelo, superficie de una parcela de campo, o el área de un píxel en

una imagen de teledetección); y “mostraron que estos tres parámetros de medición pueden afectar el rango y la varianza asintótica”. [12].

La variabilidad de las propiedades del suelo se puede estudiar en diferentes escalas.

- Pequeña escala: en esta escala las propiedades de los suelos cambian en pequeñas distancias. Las variaciones ocurren generalmente por pequeños cambios en la topografía, al tamaño de las partículas derivadas de los materiales parentales, efecto de microorganismos y el uso anterior del suelo. En esta escala los análisis tienen usos prácticos para el manejo de la fertilidad.[13]
- Mediana escala: principalmente se refieren a factores tales como topografía, drenaje, material parental, y el estudio de las diferencia de alguno de ellos. [13]
- Gran escala: Principalmente los patrones son resultado del clima y la vegetación. [13]

En condiciones ideales, la semivarianza debería ser cero cuando la distancia es cero. En la práctica esto no ocurre, a este fenómeno se le llama efecto nugget. La varianza puede ser generada por la micro variabilidad de la propiedad no detectada en la escala de muestreo utilizada, y/o por errores en las mediciones en campo o en el laboratorio. [13] [14]

Al estudiar la relación entre el efecto nugget y el valor de la meseta del semivariograma, se puede establecer una disminución de la dependencia espacial cuando aumenta la variación a corto alcance. [13]

Cambardella, et al., [14] teniendo en cuenta el porcentaje que representa el nugget con respecto al valor de la meseta del semivariograma, estableció tres categorías para agrupar la dependencia espacial, estas son:

- Fuerte dependencia espacial: Nugget < 25 %
- Moderada dependencia espacial: Nugget entre 25 y 75 %.
- Débil dependencia espacial: Nugget >75 %

Un efecto nugget puro, es decir cuando el nugget es un 100% de la meseta, indica que no hay correlación espacial en la escala de muestreo, esto se debe a que en cortas distancias de separación tenemos alta variación. [14]

Siguiendo con este análisis, el semivariograma mostrara una gran varianza nugget, si los procesos dominantes de la génesis del suelo ocurren en rangos cortos. En cambio el semivariograma será lineal hasta llegar a la meseta, donde se aplanan, si los procesos ocurren en grandes rangos. [14]

“El re-análisis de varios conjuntos de datos mostró que la variación de corto rango era más importante para los datos de propiedad del suelo, mientras que la variación de largo rango dominaba los datos de relieve y de agua subterráneas” [12].

Muestreo

Muestreo discreto.

El objetivo del muestreo es obtener un subconjunto de datos que represente adecuadamente toda el área a analizar. El conocimiento del suelo y el clima de la región, el manejo de agrónomo del campo, facilitan definir el diseño del muestro discreto de suelos. El muestreo en grillas regulares es uno de los métodos más utilizados principalmente cuando se tiene poca o ninguna información del campo.

De acuerdo con Pocknee et al. 1996 [2], la variabilidad presente en un potrero puede clasificarse de tres formas: micro, meso y macro variabilidad. Las dos primeras se producen en escalas que van desde centímetros a unos pocos metros. La macro variabilidad es causada por cambios mayores de suelo, a través de la fisiografía, que pueden deberse a cambios naturales del tipo de suelo o pueden ser ocasionados como resultado de diferentes rotaciones de cultivos.

Cualquier diseño de muestreo de suelos o cultivos debería ser pensado para que la influencia de la micro y meso variabilidad en el resultado final sea minimizada y sea maximizada la influencia de la macro variabilidad. El diseño del muestreo se planifica en base a lo que se desea muestrear y a la información previa que se tenga del potrero. Según Pocknee et al. 1996 y Mulla McBratney 2002 [2], para la cuantificación de los patrones de variabilidad de una variable en una chacra existen dos aproximaciones. La primera es que se tenga un desconocimiento pleno de la chacra y la segunda se basa en el uso de información complementaria para mejorar la calidad y reducir el margen de error en la información obtenida.

Algunos de los diseños más conocidos se listan a continuación, muestreos en grilla, muestreo al azar, muestreo por juzgamiento, muestreo adaptativo, muestreo de búsqueda, muestreo geoestadístico, muestreo dirigido.

Muestreo en grillas

El muestreo en grillas es el más conocido y se lleva a cabo para evitar los desbalances en la distribución de los puntos en el campo y las dificultades asociadas a la interpolación. Se suele formar la grilla con distintas formas geométricas como pueden ser triángulos, rectángulos, hexágonos, etc. Las más usadas son las grillas en forma rectangular, sin embargo las grillas formadas por triángulos son las consideradas las más eficientes para captar la variabilidad espacial.

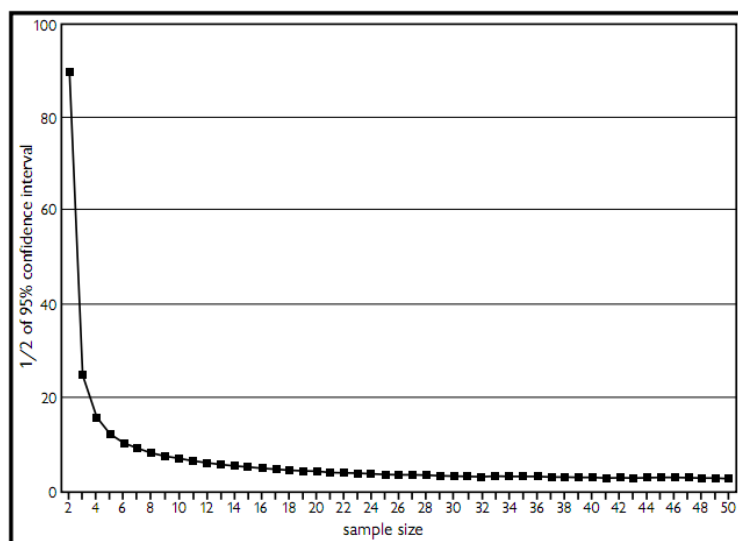
Una de las mayores desventajas de este tipo de muestreo es la linealidad en la toma de muestras que puede ser afectada por patrones de variabilidad sistemáticos (por ej. surco de fertilización). Es por este motivo que existe una variante a este diseño de muestreo que se basa en la división de la chacra en celdas y realizar en cada celda la toma de muestra de forma aleatoria dentro de la misma. De este modo se minimiza el potencial error por la linealidad de las muestras. Este tipo de muestreo se lo conoce como muestreo sistemático estratificado desalineado.

Muestreo por juzgamiento

Este tipo de muestreo es usado por parte del productor cuando se conoce mucho el suelo o se tiene la sospecha de que pueda estar pasando algo en una zona del potrero definida. Los motivos pueden llegar a ser variados, dentro de los que se encuentran el bajo rendimiento obtenido de un cultivo, presencia de enfermedades de la planta, etc. Está muy ligado al conocimiento del productor acerca del campo y carece de valor estadístico.

Muestreo adaptativo

Este tipo de muestreo se basa en el mencionado muestreo en grillas y la cantidad de muestras pueden ir variando a medida que avanzamos en el campo debido a la presencia de mayor o menor variabilidad localizándonos en zonas específicas. La cantidad de tomas de suelo es proporcional a la variabilidad del suelo. El nivel de precisión crece al aumentar la cantidad de muestras, pero no lo hace proporcionalmente. Llega un momento donde el beneficio de aumentar el número de muestras a tomar es insignificante, y su costo asociado no lo amerita, por lo que es de suma importancia encontrar el número óptimo de muestras a tomar. Tomar un número menor de muestras que el óptimo, puede tener como consecuencia que el subconjunto de datos obtenido no represente adecuadamente la realidad en el ambiente.



Influencia del número de muestras sobre el nivel de precisión. Notar que a partir de $n = 30$ no se obtienen mejoras significativas en el nivel de precisión. [9]

Los métodos comentados anteriormente asumen que se cuenta con escasa o ninguna información acerca de la variabilidad existente en el campo. Pocknee et al. 1996 [2] sostiene en su trabajo que antes de comenzar con cualquier sistema de muestreo se debería de tener una aproximación a los patrones de variabilidad existentes. Como información auxiliar se puede considerar mapas de suelos, mapas de pendientes, mapas topográficos, historia de la chacra, mapas de rendimientos históricos, mapas de conductividad eléctrica, registros climáticos, patrones de variabilidad estudiada científicamente. De tener información de la chacra son útiles los siguientes diseños de muestreos.

Muestreo dirigido

Dentro de la clasificación de muestreos dirigidos encontramos a los muestreos geoestadísticos y los muestreos por zonas. “El objetivo central del muestreo geoestadístico es la obtención de un mapa preciso y exacto al menor costo posible, mediante la respuesta de dos cuestiones fundamentales: ¿cuántos puntos de muestreo necesito para una determinada chacra? y ¿Dónde deben estar localizados esos puntos?. La clave es la elección de un diseño de muestreo que permita una correcta estimación del variograma y una alta exactitud en la interpolación realizada por kriging para la obtención del mapa.” [2]

Usando la información adicional que se tenga se puede intensificar el muestro en zonas con mayor variabilidad reduciendo la distancia entre tomas de suelo y de lo contrario se puede

atenuar el muestreo donde se tenga escasa variabilidad aumentando la distancia entre tomas de suelo.

Además de la distancia y ubicación de las muestras en la chacra no menos importante es la profundidad, el momento, la cantidad de submuestras (pinchazos de suelo) por punto de muestreo.

Por otro lado se cuenta con lo que se llama muestreo en zonas que lo que busca es la definición de zonas dentro de la chacra con similares patrones de variabilidad para realizar los muestreos a cada zona por separado. La dificultad de esta técnica esta en el desarrollo de metodologías que permitan combinar las diferentes capas de información para la producción de las zonas que sean apropiadas a los efectos del muestreo a realizar. Este tipo de muestreo está altamente relacionado al concepto de zonas de manejo.

Mapas de rendimiento

Los mapas de rendimiento se generan mediante el uso de cosechadoras con sensores que cuantifican la cantidad de granos cosechados en los diferentes puntos del campo, acoplados con un sistema de posicionamiento global (GPS) que posicionan los puntos en el mapa. En la actualidad esta tecnología está presente en nuestro país principalmente en mediano y grandes agricultores.

El uso de este tipo de información es muy útil dado que se puede apreciar de forma clara la variabilidad espacial del rendimiento de un cultivo en las diferentes partes de la chacra. A sí mismo, debe tratarse con mucho cuidado ya que en la generación (en la etapa de la cosecha) se pueden introducir muchas fuentes de error principalmente en lo que tiene que ver con la calibración de los monitores de rendimiento que miden la humedad y peso, en el ajuste del ancho de la plataforma, el reseteo de la cosechadora antes de comenzar a trabajar en la chacra, etc. Todos estos son elementos que pueden llegar a hacer inútil el mapa generado luego de cosechado el grano.

Este tipo de mapas son una muy buena herramienta para la delimitación de zonas de manejo o las zonas donde muestrear los diferentes factores que afectan la producción ya que en ellos se visualiza de forma clara los diferentes rendimientos del cultivo que es a su vez el mejor indicador de la productividad del suelo.

Los mapas de rendimiento de una chacra en un año específico nos aportan información respecto a la variabilidad espacial del suelo en ese año en particular. Si tenemos un histórico de mapas de rendimiento para esa chacra en los últimos años, se puede estudiar la variabilidad temporal del campo y su evolución a lo largo del tiempo.

Para trabajar en este sentido es necesario tener mucho cuidado para interpretar los mapas dado que por ejemplo en un año donde el régimen de lluvias fue por debajo de lo normal (época de sequía) la productividad de un potrero fue alta mientras que ese mismo potrero en otro año donde el régimen de lluvias superó el promedio (época lluviosa) el rendimiento fue bajo. Para trabajar en este sentido y disminuir el sesgo, lo que se hace es “normalizar” los mapas de cada año para después si compararlos entre sí. La normalización se lleva a cabo promediando los rendimientos de todos los potreros de la chacra y asignarle el valor 100, luego en cada sector de la chacra se le calcula un índice relativo a este valor. Lo que se obtiene es un mapa que expresa las variaciones porcentuales del rendimiento con respecto al promedio.

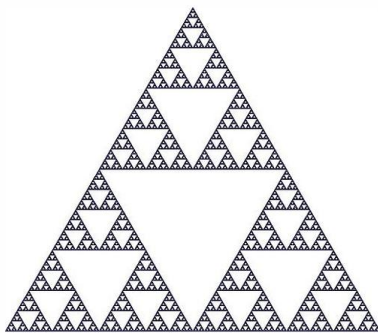
Fractales

Un fractal es un patrón o figura geométrica cuya estructura básica es auto similar a diferentes escalas. El termino fractal deriva del Latín fractus, que significa quebrado o fracturado, fue propuesto por Mandelbrot en el año 1975.

Los fractales deben poseer una dimensión que debe ser no entera y mayor a su dimensión topológica. Esto significa que no tienen dimensión uno, dos o tres como la mayoría de los objetos a los cuales estamos acostumbrados.

Las formas encontradas en la naturaleza, como montañas, franjas costeras, sistemas hidrográficos, nubes, hojas, árboles, vegetales, copos de nieve, etc., no son fácilmente descritos por la geometría tradicional. La geometría fractal provee una descripción y una forma de modelo matemático para las aparentemente complicadas formas de la naturaleza. Estas formas a veces presentan invariancia estadística ante cambios de escala, propiedad característica de los fractales.

La autosimilitud exacta sólo se ve en fractales matemáticos como por ejemplo el triángulo de Sierpinski. Los objetos encontrados en la naturaleza que presentan patrones fractales, sólo presentan un número finito de niveles auto-similares, y la semejanza entre estos no es exacta. A esto se le denomina autosimilitud estadística.



Triángulo de Sierpinski



Fractal natural (copo de nieve)

Análisis Fractal

El análisis fractal evalúa las características fractales de un conjunto de datos. En la agricultura, el uso de fractales para el análisis numérico de las propiedades de suelos y cultivos, es una técnica relativamente nueva, comparada con las técnicas estadísticas básicas.

Los datos de rendimiento de cultivos agrícolas suelen ser muy complejos de analizar. A veces las técnicas matemáticas y estadísticas comunes son insuficientes para describirlos y analizar su tendencia y variabilidad.

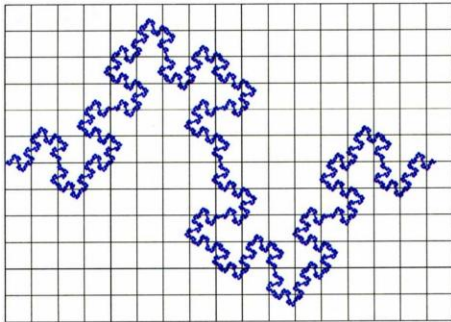
La variabilidad espacial en el rendimiento de los cultivos es causada por diversos factores, como pueden ser la topografía del terreno, propiedades físicas y químicas de la tierra. Estos factores producen variaciones que pueden ser descritos por geometrías fractales.

Dimensión Fractal

La dimensión fractal es un indicador de la geometría del objeto fractal en estudio. Para la variabilidad temporal y espacial, la dimensión puede variar entre 1 y 2.

Existen varios métodos para calcular dimensiones fractales, todos similares entre sí pero no equivalentes. Entre ellos se encuentran la dimensión de Hausdorff y el espectro de dimensiones de Rényi.

La dimensión fractal de Hausdorff se puede calcular dividiendo el área en varias partes de la misma forma y tamaño. Para utilizarlo en estudios de suelo, lo más común es dividirlo en cuadrados.



Curva de Minkowski [5]

Sea, N_k el número de cuadrados que se requieren para cubrir completamente el objeto a calcular y r_k el tamaño de estos. En cada paso se reduce el tamaño del cuadrado (p.ej. $r_{k+1} = r_k/2$) y se vuelve a calcular N_{k+1}

En fractales matemáticos se puede iterar indefinidamente, pero en fractales naturales no, ya que los patrones que presentan los fractales naturales, se pierden luego de un cierto número de iteraciones.

N_k es de la forma $\left(\frac{1}{r_k}\right)^{D_H}$ donde D_H es la dimensión de Hausdorff

Por lo tanto: $D_H = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{\log(N_k)}{\log(1/r_k)}$

La dimensión de Hausdorff solo toma en cuenta la forma del objeto en cuestión, por lo que factores como el tiempo y su evolución no se toman en cuenta en el cálculo. Además, su uso es adecuado sólo para objetos que muestran autosimilitud exacta, y como mencionamos anteriormente, los objetos de la naturaleza sólo presentan autosimilitud estadística.

Para calcular dimensiones fractales de objetos de la naturaleza se puede utilizar el espectro de dimensiones de Rényi. Este método no sólo tiene en cuenta los cambios en el tiempo, sino que también puede ser utilizado para objetos que muestran una estructura multifractal.

Multifractal

Un multifractal es una generalización de un fractal, donde una sola dimensión fractal no es suficiente para caracterizar el objeto en cuestión, por lo que se utiliza un espectro de dimensiones fractales para caracterizarlo.

Para analizar y caracterizar la variabilidad temporal y espacial de suelos, el análisis fractal podría no ser suficiente, debido a la naturaleza heterogénea de las propiedades de los suelos.

Debido a esto, es que es más común que se aplique análisis multifractal a la hora de hacer estudios de variabilidad en la agricultura.

El análisis multifractal ha sido de ayuda para caracterizar parámetros del suelo y cultivos en varios estudios, y los resultados mostrados en ellos reflejan que la variabilidad temporal es más significativa que la espacial en que lo respecta a suelos agrícolas.

Geoestadística

Origen y Definición

“La geoestadística es una rama de la estadística que trata fenómenos espaciales” “Su interés primordial es la estimación, predicción y simulación de dichos fenómenos” [6].

Matheron (1962) fue quien realizó la formulación y solución al problema de predicción, generalizando un conjunto de técnicas desarrolladas por el geólogo sudafricano D.G. Krige (1951). La definición que dio a la Geoestadística es *“la aplicación del formalismo de las funciones aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales” [7].*

Aplicación en la Agricultura

La herramienta geoestadística, es utilizada en la agricultura, para determinar los modelos de distribución de los diferentes nutrientes que contiene el suelo. Así mismo nos permite realizar estimaciones, posibilitando una representación más concisa de cantidades de los nutrientes del suelo en la zona. Esto es de gran utilidad, pues permite conocer la fertilidad que posee la zona estudiada, y con ello tomar diferentes decisiones, tales como, tipo de cultivo a desarrollar y/o cuales nutrientes deben ser reforzados mediante el agregado de fertilizantes en las zonas que más lo necesiten. [8]

Etapas de geoestadística

Un análisis geoestadístico consta de tres etapas.

En la primera etapa se debe obtener información de la muestra bajo estudio, identificando observaciones de valores extremos, ubicación, variabilidad y forma de la distribución. Esta etapa es conocida como Análisis Exploratorio de datos (AED), la cual nos permite conocer si estamos en condiciones de aplicar la teoría geoestadística y nos orienta en la definición del método de predicción más adecuado para el caso de estudio. [6][7]

La segunda etapa llamada análisis estructural, utiliza los datos medidos de una variable y determina la dependencia espacial que existe entre ellos, es decir se determina la estructura de autocorrelación espacial. [6][7]

Luego de realizado el análisis estructural, se está en condiciones de efectuar la predicción de valores para la variable, en puntos que pertenecen a la región de estudio y no han sido muestreados. La predicción antes mencionada se logra utilizando alguno de los métodos kriging que se verán más adelante. [6][7]

Definiciones básicas

A continuación se presentan algunos fundamentos básicos para la aplicación de la geoestadística, [6].

Variable regionalizada

“Una variable medida en el espacio de forma que presente una estructura de correlación, se dice que es una variable regionalizada. De manera más formal se puede definir como un proceso estocástico con dominio contenido en un espacio euclidiano d -dimensional R^d , $\{Z(x) : x \in D \subset R^d\}$ ” [6].

Proceso estocástico

“Es una colección de variables aleatorias indexadas; esto es, para cada x en el conjunto de índices D , $Z(x)$ es una variable aleatoria” [6].

Momentos de una Variable Regionalizada [6].

Sea $\{Z(x) : x \in D \subset R^d\}$ el proceso estocástico que define la variable regionalizada.

Para cualquier n puntos $x_1, x_2, \dots, x_n$ vector aleatorio $\vec{Z}(x) = [Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_n)]^T$ está definido por su función de distribución conjunta

$$F[z_1, z_2, \dots, z_n] = P[Z(x_1) \leq z_1, Z(x_2) \leq z_2, \dots, Z(x_n) \leq z_n]$$

Conocidas las densidades marginales univariadas y bivariadas se pueden establecer los siguientes valores esperados (momentos univariados y bivariados):

- $E(Z(x_i)) = m(x_i)$
- $V(Z(x_i)) = E[Z(x_i) - m(x_i)]^2 = \sigma_i^2$
- $C(Z(x_i), Z(x_j)) = E[Z(x_i) - m(x_i)][Z(x_j) - m(x_j)]$
- $\gamma(Z(x_i), Z(x_j)) = \frac{1}{2} E[Z(x_i) - Z(x_j)]^2$

Estacionariedad [6].

La variable regionalizada es estacionaria si su función de distribución conjunta es invariante respecto a cualquier translación del vector h , o lo que es lo mismo, la función de distribución del vector aleatorio $\vec{Z}(x) = [Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_n)]^T$ es idéntica a la del vector

$\vec{Z}(x) = [Z(x_1 + h), Z(x_2 + h), \dots, Z(x_n + h)]^T$ para cualquier h . La teoría geoestadística se basa en los momentos arriba descritos y la hipótesis de estacionariedad puede definirse en términos de:

- Estacionariedad de segundo orden
- Estacionariedad débil o intrínseca

Estacionariedad de Segundo Orden [6].

Sea $\{Z(x) : x \in D \subset R^d\}$ una variable regionalizada definida en un dominio D contenido en R^d (generalmente una variable medida en la superficie de una región) se dice que $Z(x)$ es estacionario de segundo orden si cumple:

a. $E[Z(x)] = m, k \in R, \forall x \in D \subset R^d$

El valor esperado de la variable aleatoria es finito y constante para todo punto en el dominio.

b. $COV[Z(x), Z(x+h)] = C(h) < \infty$

Para toda pareja $\{Z(x), Z(x+h)\}$ la covarianza existe y es función única del vector de separación h .

Estacionariedad Débil o Intrínseca [6].

Existen algunos fenómenos físicos reales en los que la varianza no es finita. En estos casos se trabaja sólo con la hipótesis que pide que los incrementos $[Z(x+h) - Z(x)]$ sean estacionarios, esto es (Clark, 1979):

a. $Z(x)$ tiene esperanza finita y constante para todo punto en el dominio. Lo que implica que la esperanza de los incrementos es cero.

$$E[Z(x+h) - Z(x)] = 0$$

b. Para cualquier vector h , la varianza del incremento está definida y es una función única de la distancia.

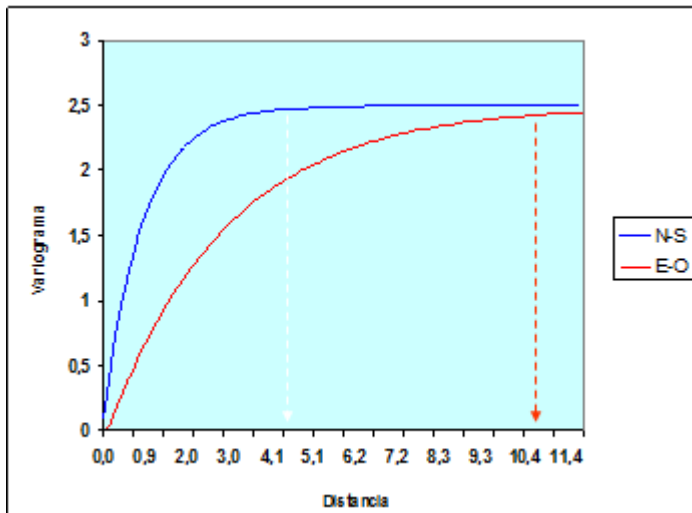
$$V[Z(x+h) - Z(x)] = E[Z(x+h) - Z(x)]^2 = 2\gamma(h)$$

Anisotropía

Cuando la correlación entre los datos depende de la dirección en la que esta se calcule, se dice que el fenómeno es anisotrópico. [6]

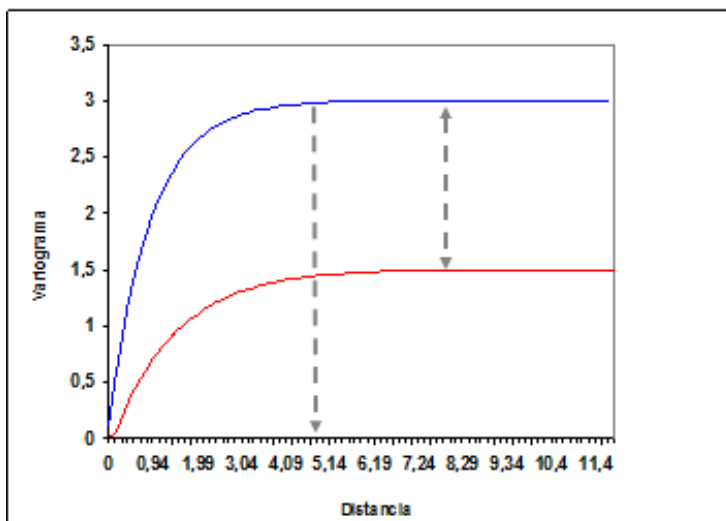
Anisotropía geométrica

Es aquella en la que el variograma en distintas direcciones presenta igual meseta pero rangos distintos. [6]



Anisotropía zonal

Es aquella en la que el variograma en distintas direcciones presenta el mismo rango pero diferente meseta. Presencia de diferentes estructuras. [6]



Análisis Exploratorio de Datos

El análisis exploratorio de datos tiene como objetivo identificar el modelo teórico que mejor represente a los datos en estudio, analizando el conjunto de datos y resumiendo sus características principales. El AED se basa en gráficos y medidas de resumen que dan una idea inicial de la información contenida en los datos.

El AED tiene como objetivos:

- Evaluar la calidad y consistencia de los datos.
- Estudiar la distribución de las variables estudiadas.
- Aplicar el tratamiento de datos ausentes.
- Detectar outliers (casos atípicos).
- Comprobar distribución de los datos (normalidad, linealidad)

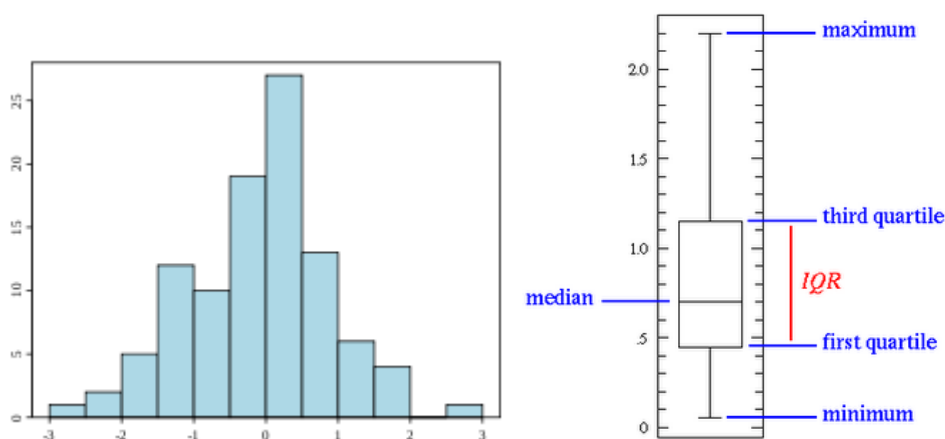
Las medidas de resumen se pueden dividir en dos categorías:

- Medidas de tendencia central: media, mediana, moda.
- Medidas de dispersión: desviación estándar, curtosis, asimetría.

Entre los gráficos más utilizados se encuentran los histogramas y los diagramas de cajas.

Un histograma es una representación gráfica de los valores producidos por las variaciones de una determinada característica, representando la frecuencia con que se presentan distintas categorías dentro de dicho conjunto. Permite resumir grandes cantidades de datos, y analizarlos de forma gráfica.

El diagrama de cajas es un gráfico que representa las distribuciones de un conjunto de datos. Para su construcción se utilizan las medidas de resumen: mediana, primer cuartil, tercer cuartil, máximo y mínimo. Esta representación gráfica muestra información sobre la tendencia central, la dispersión y la simetría de los datos. Al igual que los histogramas, permiten detectar valores atípicos. El gráfico consiste en una caja rectangular donde los extremos de la caja representan los cuartiles primero y tercero, y además está dividida por un segmento que representa a la mediana (segundo cuartil). La caja se ubica a escala sobre un segmento que tiene como extremos el valor máximo y el mínimo de los datos (llamados bigotes).



Correlación Espacial Muestral y Ajuste de Modelos

En la segunda etapa del análisis geoestadístico, se pueden utilizar tres funciones para determinar la dependencia espacial entre los datos medidos de una variable. Estas funciones de dependencia son: el semivariograma, el covariograma y el correlograma. [6]

Aunque cualquiera de estas funciones pueden ser usadas bajo el supuesto de estacionariedad, se opta por la función de semivarianza, pues no requiere estimación de parámetros. Por tal motivo, en la práctica se emplea fundamentalmente el semivariograma. [6]

Variograma y semivariograma

La función variograma permite medir la relación que existe entre los datos de acuerdo con la cercanía (h) entre los sitios y se denota por $2\hat{\gamma}(h)$. [6]

$$2\hat{\gamma}(h) = V[Z(x) - Z(x+h)] = E[Z(x) - Z(x+h)]^2 - (E[Z(x) - Z(x+h)])^2 \\ = E[Z(x) - Z(x+h)]^2$$

Sean:

- $Z(x)$ es el valor muestral de la variable en el sitio x .
- $Z(x+h)$ el valor de la variable, separada a una distancia h del sitio x .
- N el número de parejas de puntos muestreados a una distancia h .

La función de semivarianza se define como $\hat{\gamma}(h)$.

Esta función es estimada mediante el semivariograma experimental, realizando cálculos con datos de una muestra de sitios (estimador de momentos). [6]

Obteniendo la siguiente expresión:

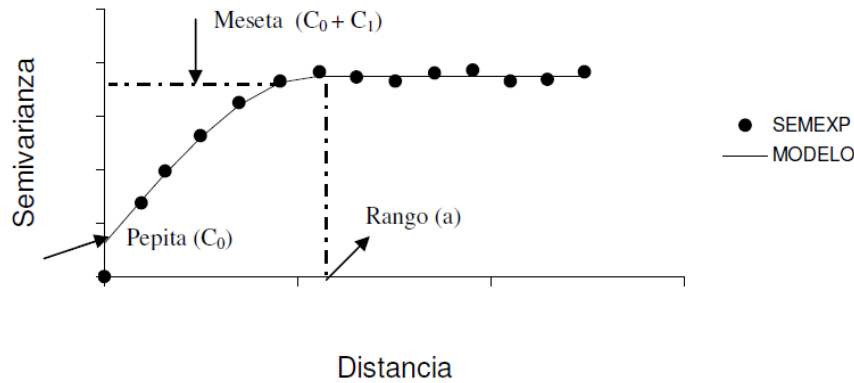
$$\hat{\gamma}(h) = \frac{\sum (z(x+h) - z(x))^2}{2n(h)}$$

El semivariograma experimental es calculado para algunas distancias particulares, para realizar la predicción mediante el uso de alguno de los distintos métodos kriging, se necesita tener conocimiento de la estructura de autocorrelación, para cualquier distancia entre sitios dentro del área de estudio.

Es necesario entonces, ajustar lo observado en el semivariograma experimental, a cualquier distancia, utilizando para esto, alguno de los diversos modelos teóricos de semivarianza. [6]

Los distintos modelos teóricos de semivarianza tienen tres parámetros comunes que se describen a continuación:

- **Efecto nugget:**
En la práctica, las funciones obtenidas del semivariograma pueden presentar discontinuidad en el origen, a esta discontinuidad se le llama efecto nugget y se denota C_0 .
La discontinuidad puede deberse a errores en la medición de las variables o a la escala de la misma. [6] *“Puede ser indicativo de que parte de la estructura espacial se concentra a distancias inferiores a las observadas”* [6].
- **Meseta:**
Varianza de los datos. Se denota por C_1 o por $(C_0 + C_1)$ cuando el nugget es diferente de cero. *“Se sugiere que en un modelo que explique bien la realidad, el nugget no debe representar más del 50% de la meseta”*. [6].
Se pueden obtener predicciones muy imprecisas, si el ruido espacial en las mediciones, incide en mayor medida en la variabilidad, que la correlación del fenómeno.
- **Rango:**
Es la distancia hasta la cual hay correlación entre los datos. *Entre más pequeño sea el rango, más cerca se está del modelo de independencia espacial. El rango no siempre aparece de manera explícita en la fórmula del semivariograma”*. [6]



Comportamiento típico de un semivariograma acotado con una representación de los parámetros básicos. SEMEXP corresponde al semivariograma experimental y MODELO al ajuste de un modelo teórico [6].

Modelos teóricos de semivarianza

A continuación se presentan los modelos teóricos de semivarianza, con sus respectivos gráficos y expresiones matemáticas. Se utilizará la siguiente notación: C_1 representará la meseta, a el rango y h la distancia.

Modelo Esférico [6].

“Tiene un crecimiento rápido cerca al origen, pero los incrementos marginales van decreciendo para distancias grandes, hasta que para distancias superiores al rango los incrementos son nulos.

Su expresión matemática es la siguiente:”

$$\gamma(h) = \begin{cases} c_0 + c_1 \left(\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right) & h \leq a \\ c_0 + c_1 & h > a \end{cases}$$

Modelo Exponencial [6].

“Este modelo se aplica cuando la dependencia espacial tiene un crecimiento exponencial respecto a la distancia entre las observaciones. El valor del rango es igual a la distancia para la cual el semivariograma toma un valor igual al 95% de la meseta.

Su expresión matemática es la siguiente:”

$$\gamma(h) = c_0 + c_1 \left(1 - \exp \left(\frac{-3h}{a} \right) \right)$$

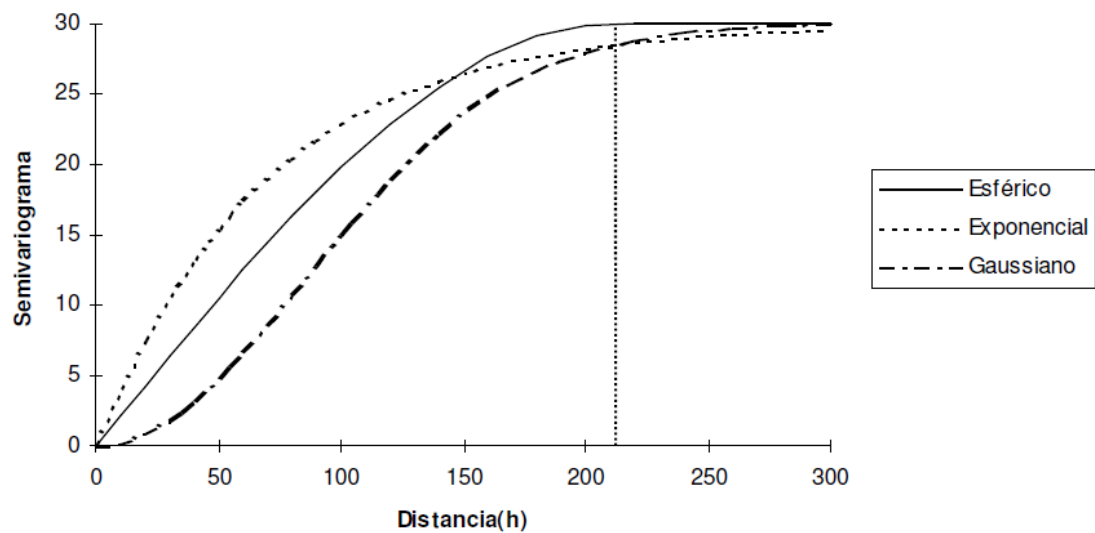
Modelo Gaussiano [6].

“Al igual que en el modelo exponencial, la dependencia espacial se desvanece solo en una distancia que tiende a infinito. El principal distintivo de este modelo es su forma parabólica cerca al origen.

Su expresión matemática es:”

$$\gamma(h) = c_0 + c_1 \left(1 - \exp \left(\frac{-h^2}{a^2} \right) \right)$$

Los modelos exponencial, esférico y Gaussiano garantizan que la covarianza de los incrementos es finita. La siguiente figura muestra un ejemplo comparativo entre ellos.



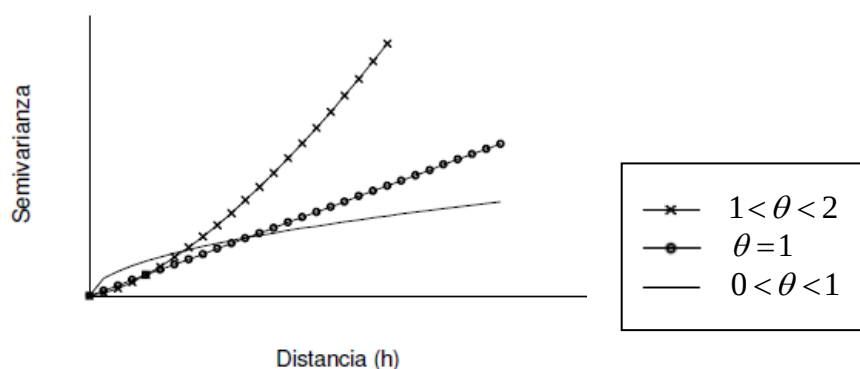
La línea punteada vertical representa el rango en el caso del modelo esférico y el rango efectivo en el de los modelos exponencial y gaussiano. Este tiene un valor de 210, respecto a una escala simulada entre 0 y 300. El valor de la meseta es 30 y el del nugget 0. El 95% de la meseta es igual a 28.5 [6].

Modelo Monómicos [6].

“Corresponden a los modelos que no alcanzan la meseta. Su uso puede ser delicado debido a que en algunos casos indican la presencia de no estacionariedad en alguna dirección.”
Su expresión matemática es:

$$\gamma(h) = kh^\theta \quad 0 < \theta < 2$$

Su representación grafica:



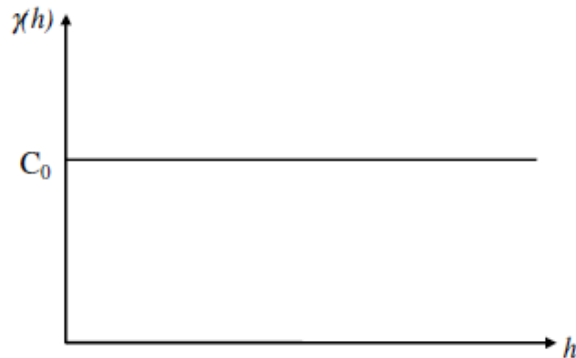
Modelo de Independencia (Nugget Puro) [6].

“Es indicativo de carencia de correlación espacial entre las observaciones de una variable. Es común sumar este modelo a otro modelo teórico de semivarianza, para obtener lo que se conoce como semivariograma anidado.

Su expresión matemática es:”

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & h = 0 \\ c_0 & h > 0 \end{cases} \quad \text{donde } c_0 > 0$$

Su representación grafica:



Predicción Espacial

Luego de realizado el análisis estructural, se está en condiciones de efectuar la predicción de valores para la variable, en puntos que pertenecen a la región de estudio y no han sido muestreados. La predicción antes mencionada se logra utilizando alguno de los métodos kriging, que “*se fundamentan en la minimización del error cuadrático medio de predicción*” [6].

En la siguiente tabla se mencionan los tipos de kriging y alguna de sus propiedades. [6]

TIPO DE PREDICTOR	NOMBRE	PROPIEDADES
LINEAL	• Simple • Ordinario • Universal	• Son óptimos si hay normalidad multivariada • Independiente de la distribución son los mejores predictores linealmente insesgados.
NO LINEAL	• Indicador • Probabilístico • Log Normal, Trans-Gaussiano • Disyuntivo	• Son predictores óptimos

Se mencionaran a continuación algunos aspectos generales de los métodos de predicción espacial kriging antes mencionados.

Kriging Ordinario [6].

“Suponiendo que se tiene las mediciones de la variable de interés Z en los puntos x_i , $i = 1, 2, \dots, n$, de la región de estudio, es decir se tienen realizaciones de las variables $Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_n)$, y se desea predecir $Z(x_0)$, en el punto x_0 donde no hubo medición. En esta circunstancia, el método kriging ordinario propone que el valor de la variable puede predecirse como una combinación lineal de las n variables aleatorias así:

$$Z^*(x_0) = \lambda_1 Z(x_1) + \lambda_2 Z(x_2) + \lambda_3 Z(x_3) + \lambda_4 Z(x_4) + \lambda_5 Z(x_5) + \dots + \lambda_n Z(x_n)$$

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

en donde los λ_i representan los pesos o ponderaciones de los valores originales. Dichos pesos se calculan en función de la distancia entre los puntos muestreados y el punto donde se va a hacer la correspondiente predicción. La suma de los pesos debe ser igual a uno para que la esperanza del predictor sea igual a la esperanza de la variable. Esto último se conoce como el requisito de insesgamiento.”

Estadísticamente la propiedad de insesgamiento se expresa a través de:

$$E(Z^*(x_0)) = E(Z(x_0))$$

Kriging Simple [6].

“Suponga que hay una variable regionalizada estacionaria con media (m) y covarianza conocidas. De manera análoga a como se define en modelos lineales (por ejemplo en diseño de experimentos) el modelo establecido en este caso es igual a la media más un error aleatorio con media cero. La diferencia es que en este caso los errores no son independientes. Sea $Z(x)$ la variable de interés medida en el sitio x .”

$$E[Z(x)] = m$$

$$Z(x) = m + \varepsilon(x) \text{ con } E[\varepsilon(x)] = 0$$

El predictor de la variable de interés en un sitio x_0 donde no se tiene información se define como:

$$Z^*(x_0) = m + \varepsilon^*(x_0), \text{ con } \varepsilon^*(x_0) \text{ corresponde a la predicción del error aleatorio en el sitio } x_0.$$

Despejando de la ecuación anterior

$$\varepsilon^*(x_0) = Z^*(x_0) - m$$

El predictor del error aleatorio se define por:

$$\varepsilon^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \varepsilon(x_i) = \sum_{i=1}^n \lambda_i (Z(x_i) - m)$$

En donde el predictor de la variable de estudio es:

$$Z^*(x_0) = m + \left[\sum_{i=1}^n \lambda_i (Z(x_i) - m) \right] = m + \sum_{i=1}^n \lambda_i \varepsilon(x_i)$$

Kriging en Bloques [6].

“En los dos métodos kriging hasta ahora descritos el objetivo ha estado centrado en la predicción puntual. A menudo, sin embargo, se requiere estimar un bloque, o más precisamente, estimar el valor promedio de la variable dentro de un área local.”

El valor promedio dentro del bloque es estimado por:

$$\bar{Z}(A) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

Kriging Universal [6].

“En los supuestos hechos hasta ahora respecto a los métodos kriging se ha asumido que la variable regionalizada es estacionaria (al menos se cumple con la hipótesis intrínseca). En muchos casos, la variable no satisface estas condiciones y se caracteriza por exhibir una tendencia. Para tratar este tipo de variables es frecuente descomponer la variable $Z(x)$ como la suma de la tendencia, tratada como una función determinística, más una componente estocástica estacionaria de media cero.”

Asuma que:

$$Z(x) = m(x) + \varepsilon(x) \quad \text{con } E(\varepsilon(x)) = 0 \quad , \quad V(\varepsilon(x)) = \sigma^2 \quad \text{y por consiguiente}$$

$$E(Z(x)) = m(x)$$

La tendencia puede expresarse mediante:

$$m(x) = \sum_{l=1}^p a_l f_l(x) \quad \text{donde las funciones } f_l(x) \text{ son conocidas y } p \text{ es el número de términos empleados para ajustar } m(x).$$

El predictor kriging universal se define como:
$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

Kriging Residual [6].

La técnica kriging residuales empleada bajo las mismas circunstancias del kriging universal, es decir en aquellos casos en que la variable regionalizada no es estacionaria debido a la presencia de tendencia espacial en el valor promedio de la variable. La hipótesis central del kriging residual consiste en suponer conocida la tendencia $m(x)$. A partir de ella se calculan los residuos con base en los cuales se aplica kriging ordinario. La estimación de la tendencia es generalmente llevada a cabo por medio de mínimos cuadrados.

La predicción en un sitio no muestreado es igual a la tendencia estimada más la predicción del error, es decir:

$$Z^*(x_0) = \hat{m}(x_0) + e^*(x_0)$$

$$e^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i e(x_i)$$

Los pesos o ponderaciones son estimados por kriging ordinario. La varianza de predicción de la variable de interés coincide con la varianza de predicción de los errores.

Kriging Indicador [6].

“Suponga que se tiene una variable regionalizada $\{Z(x) : x \in D \subset R^d\}$ estacionaria. Se define la siguiente transformación:

$$I(x_i, z_l) = \begin{cases} 1 & \text{Si } Z(x_i) \leq z_l \\ 0 & \text{Otro caso} \end{cases}$$

Algunas propiedades son las siguientes:

- i. $\Pr(I(x, z_l) = 1) = \Pr(Z(x) \leq z_l) = F(z_l)$
- ii. $E(I(x, z_l)) = 1 \Pr(I(x, z_l) = 1) + 0 \Pr(I(x, z_l) = 0)$
 $= 1 \Pr(I(x, z_l) = 1) = F(z_l)$

El predictor kriging indicador es igual a:

$$I^*(x_0, z_l) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(z_l) I(x_i, z_l)$$

Es decir que la predicción de la función indicadora en el sitio x_0 es igual a una combinación lineal de las n funciones indicadoras evaluadas en los sitios de medición.”

Kriging Log-Normal [6].

“Se hacen transformaciones de la variable regionalizada con el propósito de normalizar en cada sitio de la región de estudio.

Consiste en aplicar kriging ordinario a la transformación logarítmica de los datos.

Veamos:

Sea $\{Z(x) : x \in D\}$ variable regionalizada log-normal. Es decir que $Y(x) = \text{Log}(Z(x))$ tiene distribución normal. Algunas veces se requiere adicionar una constante positiva de tal forma que $Y(x)$ esté definida.

El predictor kriging log-normal es:

$$Y^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Y(x_i)$$

Los pesos se obtienen de manera análoga al kriging ordinario. El semivariograma usado es el de los valores transformados. La complicación práctica puede darse al hacer la retransformación a la escala original, puesto que $Z^*(x_0) = \exp(Y^*(x_0))$ es un predictor sesgado.”

Kriging multi-gaussiano [6].

“Suponga que se tiene una variable regionalizada $\{Z(x): x \in D\}$ estacionaria. Este procedimiento consiste en hacer una transformación de $Z(x)$ tal que los valores transformados sigan una distribución normal estándar. En ese sentido es una generalización del kriging log-normal.

Los pasos del método kriging multi-gaussiano son los siguientes:

- iii. Se encuentra la función de probabilidad acumulada empírica $F_n(Z(x))$.
- iv. Se calculan con base de $F_n(Z(x))$ los “scores” normales estándar, es decir los valores de una distribución de probabilidad normal estándar para los cuales la probabilidad acumulada corresponde a $F_n(Z(x))$. En otras palabras se encuentra

$$U(x) = \Phi^{-1}(F_n(Z(x)))$$

- v. Se realiza kriging simple sobre los valores transformados. “

Referencias

1. LEIVA, Fabio R. Aproximación al manejo sitio-especifico del suelo para una agricultura sostenible y competitiva en Colombia. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2006.
2. BONGIOVANNI, Rodolfo; CHARTUNI MANTOVANI, Evandro; BEST, Stanley; ROEL, Álvaro. AGRICULTURA DE PRECISIÓN: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 2006.
3. EGHBALL, Bahman; VARVEL, Gary E., Fractal Analysis of Temporal Yield Variability of Crop Sequences: Implications for Site-Specific Management (1997)
4. EGHBALL, Bahman; SCHEPERS, James S.; NEGAHBAN, Mehrdad ; SCHLEMMER, Michael R., Spatial and Temporal Variability of Soil Nitrate and Corn Yield: Multifractal Analysis (2003).
5. EHSANI; KARIMI; LEE, Fractal Analysis of yield Maps (2007)
6. GIRALDO, R. Introducción a la Geoestadística: Teoría y Aplicación. Departamento de Estadística, Universidad Nacional de Colombia, 2002. 97 p.
7. LERMA MARTINEZ, David; GAONA SERRANO, Raul. DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CÓMPUTO PARA LA MODELACIÓN GEOESTADÍSTICA DE FENÓMENOS ESPACIALES .Director: Dr. Martín Alberto Díaz Viera.[Tesis]. Ingeniería en Sistemas Computacionales con Especialidad en Sistemas. Escuela Superior de Cómputo, IPN. México, junio de 2005.
8. GONZALEZ NARVAEZ, Mariela; GUERRERO LOOR, Fernando. GEOESTADÍSTICA APLICADA A LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA CULTIVOS. Director: Fernando Guerrero L. [Tesis].Ingeniera en Estadística Informática. Guayaquil- Ecuador, 2002.160p
9. ELZINGA, Caryl L.; SALZER, Daniel W.; WILLOUGHBY, John W. Measuring & Monitoring Plant Populations. Publicado por: Bureau of Land Management, U.S. Department of the Interior, Julio, 1998.
10. BERMUDEZ, Manuel. Enfoques del manejo sitio específico de fósforo en maíz y soja: comparación de aplicación variable vs. Uniforme. [en línea]. <<http://www.planetasoja.com.ar/trabajos/trabajos800.php?id1=21225&publi=&idSec=12&id2=21227>>. [consulta: 26 mayo 2012]
11. BLACKMORE, Simon; GODWIN, Richard J.; FOUNTAS, Spyros. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. Biosystems Engineering, Volume 84, Issue 4, Paginas 455-466. DOI 10.1016/S1537-5110(03)00038-2. Publicado por Elsevier Science Ltd. 2003.
12. OLIVE, David K.; GRANT, Michael C. Scaling patterns of biomass and soil properties: an empirical analysis. Publicado por Landscape ecology, 2002, Volumen 17, N° 1, Paginas 13-26.
13. VASQUEZ POLO, Jose. Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas en suelos de la granja experimental de la Universidad de Magdalena (Colombia). Publicado en Colombia, Acta Agronómica, ISSN: 0120-2812, Editorial Feriva v.57 fasc.4, paginas 449-456, 2010.
14. BRICEÑO VALERA, Francisco; FERNANDEZ TORRENS, Oswaldo; PEÑA, Agustín; FACCIN, Emelin. Evaluación agronómica con técnicas de agricultura de precisión en parcelas de café (Coffea arabica) en la cuenca del Rio Castan. Estado

Trujillo. Publicado por: Revista ACADEMIA - Trujillo - Venezuela - ISSN 1690-3226 - Enero-Junio. Volumen X (19), 2011.

15. Apuntes teóricos del curso Introducción a la investigación de operaciones – Carrera Ing. en computación - Facultad de Ingeniería. Disponible en <<http://www.fing.edu.uy/inco/cursos/io/archivos/teorico/todo.pdf>> [Consulta: 21 de Setiembre 2012]
16. FERRERO, Marta B.; CHIOTTI, Omar J. A. Modelado, Simulación y Optimización de Procesos Químicos. Autor: Nicolás J. Scenna y col. ISBN: 950-42-0022-2 - ©1999.
17. ARIFIN, Shamsul. Location Allocation problem using genetic algorithm and simulated annealing: A case study based on school in Enschede. Enschede, The Netherlands, 2010. Disponible en <http://www.itc.nl/library/papers_2011/msc/gfm/arifin.pdf> [Consulta: 22 de Setiembre 2012]