



TEXTO BASE

METODOLOGIAS PARA EL LEVANTAMIENTO DEL RECURSO SUELO

Por:

DAVID. G. ROSSITER*
Soil Science Division, ITC

Traducido y adaptado al español por:

RONALD VARGAS ROJAS**
Division Geoinformacion suelos y tierras-CLAS-UMSS

2^{da} Version revisada
Marzo 2000 – Traducción y adaptación Agosto del 2004.

Copyright © International Institute for Geo-information Science & Earth Observation (ITC) 2002.

* rossiter@itc.nl, <http://www.itc.nl/~rossiter>

** vargasrojas@itc.nl

METODOLOGIA PARA EL INVENTARIO DEL RECURSO SUELO

Introducción

El levantamiento de suelos (soil survey) o más propiamente, Inventario del recurso suelo, es el proceso de determinar el patrón de la cobertura del suelo, caracterizándolo y presentándolo de forma entendible e interpretable para los varios usuarios.

Este texto está dirigido para estudiantes que desean aprender los conceptos y métodos en levantamiento de suelos. Los pre-requisitos para entender este material son: a) introducción a la génesis del suelo, específicamente los factores y procesos formadores del suelo y b) una base general en Ciencias de la tierra, Teledetección, Cartografía, Estadística y manejo informático.

Agradecimiento

El agradecimiento sincero al Dr. David Rossiter por permitirme la traducción y adopción al español del presente texto, el cual representa una fuente muy rica en el mundo de la Ciencia del Suelo y específicamente en el Levantamiento de Suelos.

Esperemos que sea útil para todos los estudiantes y profesionales inmersos en el recurso suelo y de manera general en el Manejo de los Recursos Naturales.

El presente documento se constituye en el texto base para el Módulo “Levantamiento de Suelos” de la Maestría Profesional “Información de Suelos para el Manejo de Recursos Naturales del CLAS-UMSS.

Cochabamba, agosto 2004.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	2
1 ¿Que es levantamiento de suelos?.....	5
1.1 El enfoque del usuario en el levantamiento de suelos	5
1.2 Tipos de mapas de suelos.....	8
1.3 ¿Que es un levantamiento de suelos?.....	10
1.4 El levantamiento de suelos como un ejercicio en la estratificación del paisaje	12
1.5 ¿Son los mapas de suelos útiles? Una prevista	14
1.6 Tipos de levantamiento de suelos	15
2 ¿Que mapeamos en el levantamiento de suelos?	19
2.1 ¿Que es tierra?.....	19
2.2 ¿Que es suelo?.....	19
2.3 El suelo como continuo (continuum) y como individuo.....	25
3 Escala de mapa, detalle y orden en el levantamiento de suelos.....	30
3.1 Escala de mapa.....	30
3.2 Detalle cartográfico vs detalle categórico.....	42
3.3 Reduciendo un mapa de polígonos a una menor escala.....	44
3.4 Agrandando un mapa polígono a mayor escala	45
4 Unidades de mapeo en mapas clase área	47
4.1 Unidades de mapeo clasificadas por su pureza categórica & patrón del suelo.	47
4.2 Unidades de mapeo clasificadas por su nivel categórico.....	63
4.3 Las series de suelo	71
4.4 Fases.....	81
4.5 El patrón del suelo dentro las delineaciones	84
4.6 Nomenclatura de las unidades de mapeo	85
4.7 Estimando la composición de una unidad de mapeo	86
4.8 Sistemas de suelo	91
5 Métodos de levantamiento	93
5.1 ¿Como el área es cubierta?	93
5.2 Métodos de levantamiento y muestreo	94
5.3 Levantamiento libre	95
5.4 Enfoque geo-pedológico (suelo-geomorfología)	99
5.5 La clave de mapeo en campo.....	101
6 El mapa y el reporte del levantamiento de suelos.....	103
6.1 Leyendas del mapeo.....	103
6.2 Procedimiento	106
6.3 El mapa	106
6.4 Sitios representativos	108
6.5 Comunicando los patrones del suelo a los usuarios del levantamiento	108
6.6 Correlación a un sistema de clasificación estandar.....	109
6.7 Interpretaciones de un levantamiento de suelos.....	109
7 Control de calidad en el levantamiento de suelos.....	111
7.1 Correlación.....	111
7.2 Límite, contenido y exactitud de ubicación de puntos.....	115
7.3 Tipo de variables.....	115

7.4	¿Cuan eficiente fue el levantamiento de suelos?	116
7.5	Métodos para evaluar la exactitud de un levantamiento de suelos	126
7.6	Normas para evaluar la adecuación de un SRI	130
8	Especificación y planificación de un levantamiento de suelos.....	132
8.1	Necesidad de evaluación.....	132
8.2	Términos de referencia	133
8.3	Problemas específicos en la especificación del levantamiento.....	134
8.4	Fase de investigación	136
8.5	Mapeo inicial	137
8.6	Mapeo de rutina	137
8.7	Control de calidad incluyendo correlación	138
8.8	Cartografía	138
8.9	Interpretación y evaluación de tierras	138
8.10	Reporte.....	138
8.11	SIG y Base de datos geográfica-edafológica	139
8.12	Publicacion.....	139
8.13	El costo/beneficio en el levantamiento de suelos	139
9	Bibliografía	142

1 ¿Que es levantamiento de suelos?

En esta sección defino “levantamiento de suelos”, explico su importancia e introduzco algunos conceptos y definiciones importantes. Nosotros definiremos “levantamiento de suelos” en detalle posteriormente; a continuación presentamos la definición de Dent & Young [24]:

“El propósito práctico del levantamiento de suelos es hacer predicciones mas numerosas, mas precisas y mas útiles para propósitos específicos que se pudieron hacer anteriormente”

Esto enfatiza que el levantamiento de suelos es **utilitario**, en otras palabras, el suelo es mapeado con más de un propósito y no como un objeto de estudio científico. Esto implica primero, que el levantamiento de suelos debe ser a **demanda del usuario** y que los métodos y productos pueden ser especificados de acuerdo a la demanda y presupuesto. Segundo, podemos usar un *criterio objetivo* para ver si este reúne ciertas especificaciones. El estudio del suelo por sí mismo, como un objeto de interés vale la pena y es de mucha importancia, sin embargo, el tipo de levantamiento de suelos que presentamos en este curso debe servir a la sociedad o interés privados directamente, por ejemplo: el levantamiento de suelos debe ser una forma económicamente efectiva de mejorar el bienestar de nuestra sociedad.

Basado en ello, podemos separar en dos tipos de levantamiento de suelos:

1. **Utilitario**, para responder preguntas específicas acerca de la respuesta de la tierra a su uso.
2. **Científico**, para entender el suelo como cuerpo natural en el paisaje

En muchas ocasiones el levantamiento científico es la forma más eficiente de obtener un levantamiento utilitario. En otras palabras, es difícil mapear la distribución de propiedades edáficas específicas sin entender la base científica de las relaciones suelo-paisaje.

Recuerde, ***alguien está pagando por el levantamiento de suelos***, la sociedad en general (nivel nacional, departamental, municipal), un proyecto específico, un propietario privado o un usuario de la tierra. En cualquier caso, el levantamiento de suelos debe retribuir la inversión.

1.1 El enfoque del usuario en el levantamiento de suelos

Los edafólogos, pedólogos y específicamente las personas que se dedican al mapeo de suelos deben entregar un producto de alta calidad que sea útil a uno o más grupos de **tomadores de decisiones**. La mayoría de las preguntas acerca de la metodología de levantamiento de suelos pueden últimamente ser resueltas enfocando el levantamiento de suelos a los requerimientos y presupuesto de los tomadores de decisiones o usuarios.

1.1.1 Los usuarios de los levantamientos de suelos

El usuario de la información es una persona u organización que requiere tener conocimiento de las propiedades de los suelos como fue explicado en la sección previa. Para el recurso suelo, estos usuarios incluyen:

- ❑ Usuarios de la tierra: agricultores, forestales, pecuarios.....Este grupo decide que hacer con cada pedazo de tierra, por ejemplo: que cultivo es apto en una determinada unidad de tierra, bajo que sistema de manejo, etc.
- ❑ Asesores de los usuarios de la tierra: extensionistas.....Este grupo aconseja a los usuarios directos de la tierra.
- ❑ Unidades de servicio al uso de la tierra: agencias de crédito agrícola, bancos, grupos de inversión..... Este grupo facilita el uso de la tierra y requiere saber si su inversión será productiva.
- ❑ Planificadores del uso de la tierra: rurales, suburbanos, peri-urbanos y urbanos. Este grupo prohíbe, aconseja o facilita cierto tipo de usos en áreas diferentes.
- ❑ Ambientalistas, quienes usan el suelo como un elemento en la ecología del paisaje.
- ❑ Agencias reguladoras: sub-grupo de planificadores del uso de la tierra, pero con autoridad específica en la regulación del uso de la tierra.
- ❑ Investigadores en la respuesta de la tierra a varios tipos de uso y estrategias de manejo.

En cada caso, el cliente solo usara un levantamiento de suelos si este incrementa su productividad. Es así que podemos emitir el siguiente juicio desde el punto de vista del cliente:

1. ¿Cuan exacto y preciso el levantamiento responderá a las preguntas del cliente?
2. ¿Cuál será el valor que el levantamiento brinde a las decisiones de los planificadores?

1.1.2 Preguntas que un levantamiento de suelos puede responder

Que tipo de información los tomadores de decisión requieren? Beckett & Burrough [5] presentan la siguiente clasificación de preguntas que pueden ser respondidas por un levantamiento de suelos (las preguntas acerca de patrón espacial son la contribución del autor):

1. Resumiendo sobre un área de estudio general
 - a) ¿Que clases de suelo encontramos?
 - b) ¿En que proporción ocurren?
 - c) ¿Que proporción del área es ocupada por suelos de propiedades específicas?

Note que en este primer grupo de preguntas solo requiere un procedimiento estadístico (punto o área) y no un mapa. El único interés en estas preguntas será para un inventario nacional.

Para la mayoría de tomadores de decisiones nosotros también queremos saber la **distribución geográfica** de lo suelos, por ejemplo ellos deben estar mostrados en un mapa. Con un mapa se pueden responder las siguientes preguntas:

2. En un sitio específico (pequeña área de interés)

- a) ¿Cuál es la **clase de suelo** en un **sitio particular**?
- b) ¿Cuales son las **propiedades del suelo** en ese sitio?
- c) ¿Cuál es el **patrón espacial** de las **clases de suelo** en el sitio y su alrededor?
- d) ¿Cuál es el **patrón espacial** de las **propiedades del suelo** en el sitio y su alrededor?

El grupo de preguntas precedentes deben ser preguntadas por Usuarios de la tierra quienes son propietarios o manejan áreas específicas y por planificadores quienes tienen ya identificadas áreas específicas de las cuales su uso o manejo debe ser planificado.

3. Ubicando áreas de interes

- a) ¿Dónde una clase de suelo particular puede ser encontrada?
- b) ¿Dónde un suelo con propiedades específicas puede ser encontrado?
- c) ¿Dónde un patrón espacial específico de las propiedades del suelo puede ser encontrado?

El grupo de preguntas precedentes debe ser preguntadas por planificadores o usuarios de la tierra (land users) que buscan unidades de tierra aptas para propósitos específicos. Puede ser que la tierra ya tenga propietario, ya sea manejada o controlada, o también si la tierra será adquirida, manejada o controlada.

Los dos últimos grupos de preguntas requieren que cubramos el área de interés con predicciones acerca del suelo, es decir que a cualquier sitio (muestreado directamente o no) podamos responder estas preguntas. En otras palabras, debemos generar un mapa de suelos para responder dichas preguntas.

Alguno puntos interesantes respecto a estas preguntas

1. **Clases vs propiedades:** “clases” son categorías de un sistema de clasificación predefinido o reconocidas durante el levantamiento de suelos como elementos naturales del paisaje; “propiedades” son Características de la tierra que son medibles (ejemplo: contenido de sales) o Cualidades de la tierra inferida (grado de toxicidad a una variedad de planta específica).
2. **Evaluación de tierras:** Para “propiedades” en la definición precedente, substituir por “combinación de características de la tierra o cualidades de la tierra que son necesarias para un uso satisfactorio y sostenible de la tierra bajo un tipo de utilización de la tierra específico” y usted ahora transformó la pregunta en dentro de las preguntas básicas de evaluación de tierras.
3. **La escala utilizada** en estas preguntas: Discutiremos la escala del mapa y la intensidad de mapeo en detalle posteriormente. Aquí debemos darnos cuenta que los conceptos “sitio” y “área” implican una escala de interés y que estas preguntas cambian su significado de acuerdo a ella. Un ejemplo de escala a detalle (área pequeña “sitio”: a nivel de predio agrario). Escala general (área grande “sitio”: un trabajo a nivel nacional-departamental).
4. **Patrón espacial:** Algunos usos de la tierra requieren un patrón espacial específico de tipos diferentes de suelos a escala específica. Algunas veces no es suficiente conocer la proporción de suelos en un “sitio” o en un área, pero también el patrón espacial en que este ocurre.

Un detalle técnico (importante): ¿que es un punto?

Matemáticamente, un punto no tiene dimensiones y es infinitamente pequeño. Algunos “puntos” geográficos entran en esta definición, por ej: puntos definidos por su referencia a un sistema de coordenadas geográficas o grilla. Actualmente, incluso ellos no son verdaderos puntos matemáticos porque ubicarlos en el campo conlleva incertidumbre (uncertainty); es así que estos “puntos” son actualmente áreas pequeñas. Podemos aún utilizar la palabra “punto” por conveniencia; de hecho en un programa SIG vector se encuentran representados como puntos matemáticos (un juego simple de coordenadas).

Ahora, desde el punto de vista edafológico, siempre existe un área (bi-dimensional) asociada con el concepto de un “punto”; de hecho la palabra “sitio” o “sitio de muestreo” o “sitio de interés” será mejor. Aquí el mismo objeto de interés tiene un área; nunca estudiamos o usamos un “punto” real pero si un área definida.

Webster & Oliver [56], siguiendo el uso aceptado en geoestadística usan la palabra “**support**” para referirse a las *dimensiones (área o volumen) del individuo que es muestreado*, por ejemplo: su tamaño, forma y orientación.

Y así podemos aun usar la palabra “punto”, pero siempre especificando su “support”. Para el cliente del levantamiento de suelos, un “punto” es un área pequeña de interés; para el productor, es el “support” de la muestra que se encuentra al centro del punto matemático.

1.2 Tipos de mapas de suelos

Muchos de los levantamientos producen mapas que muestran la distribución geográfica de clases de suelos o sus propiedades. Estos mapas son de diferentes tipos. El mapa tipo “clase polígono-área” (area-class polygon) es el más común en levantamiento de suelos, pero los otros tipos pueden ser mejores opciones en ciertos casos.

1. **Mapa de suelos tipo “punto”**: Son mapas donde los **puntos actuales de muestreo** son mostrados en un mapa junto con la **clase de suelo** o una o mas de sus **propiedades**. Estos mapas tienen la ventaja de ser una representación directa de lo que fue actualmente muestreado. No toda el área es cubierta. Ningún modelo de variabilidad espacial es empleado.
2. **Mapas de suelo tipo “clase área-polígono”**: el área de estudio o levantamiento es **dividida en polígonos** por **un límite (línea) preciso**, cada polígono es etiquetado con un **nombre o clase** específico, cada clase es descrita posteriormente en una **leyenda**. Casi todos los levantamientos de suelos son de este tipo y pueden fácilmente ser representados por el **modelo vector de un SIG**. Conceptualmente, estos mapas forman parte del **modelo discreto de variación espacial** DSMV [34]: la variación en el paisaje puede ser estratificada en límites precisos en áreas relativamente homogéneas.

Esto incluye una división jerárquica del área mapeada en m clases y entonces dentro de delineaciones individuales. Cada delineación pertenece exactamente a una clase en la leyenda.

<u>Área total del levantamiento</u>	
Clase 1	Delineación 1.1 Delineación 1.2 Delineación 1.n1
Clase 2	Delineación 2.1 Delineación 2.2 Delineación 2.n2
Clase m	Delineación m.1 Delineación m.2 Delineación m.nm

Otro nombre que ha sido utilizado para este tipo de mapas es mapa "cloropletico"[14]; sin embargo el uso del término cloropletico no coincide con uso aceptado en Cartografía [45], donde significa un mapa que usa tonos graduales o colores para representar una superficie estadística con límites exactos en los límites poligonales. Un clásico mapa cloropletico en el sentido de aceptación es el resultado de un censo, por ejemplo: densidad poblacional en áreas censadas. También puede ser usado para alguna propiedad individual del suelo: clases de requerimiento de cal en el suelo.

Existen muchas **variantes** en cuanto al tipo de mapa clase área-polígono, por ejemplo, con diferentes tipos de línea en los límites; impreso con símbolos representando puntos y líneas, etc.

3. Mapas de **campo-continuo** producidos por **interpolación**, comúnmente presentados por **isolíneas** o en una grilla fina (**Modelo raster en un SIG**). Estos mapas muestran la distribución continua de propiedades del suelo inferidas. Con algunos métodos de interpolación, ambas, la propiedad y la varianza pueden ser ilustradas en mapas separados. Conceptualmente, estos mapas están dentro del modelo continuo de variación espacial CMSV [34]: donde no existen límites exactos, todas las variaciones en el paisaje se consideran continuas.
4. Mapas DE **campo-continuo** generados a partir de **observación directa** sobre todo el área de estudio, por ejemplo: se tiene una medición hecha en cada punto (en la práctica, un área pequeña). Estos son presentados comúnmente como un mapa raster grilla (modelo raster). Estos mapas muestran distribución continua de **mediciones** en las **propiedades del suelo**. Este tipo de mapas conforman el modelo continuo de variación espacial CMSV. Tienen un uso muy limitado en el levantamiento de suelos hoy en día. Actualmente existe mucho interés en este tipo de mapas, especialmente en agricultura de precisión en parcelas individuales. Ejemplos comunes pero no relacionados al suelos son la altitud y

los índices de vegetación. Los sensores para ello son satélites, aviones o equipos de campo.

1.3 ¿Que es un levantamiento de suelos?

En esta parte se dará una definición del levantamiento de suelos según varios autores. La definición exacta será abordada posteriormente.

1.3.1 *Definiciones simples de levantamiento de suelos (soil survey)*

Avery [2], brinda la definición más general:

“El propósito general de los levantamientos de suelos es proveer información acerca del suelo presente en cualquier unidad de tierra”

Esta definición incluye cualquier investigación sistemática del suelo, no solo el mapeo y cualquier tipo de mapas (clases, factor simple, etc). Pero la mayoría de autores consideran el mapeo de suelos parte fundamental del levantamiento de suelos, por ejemplo: Eyk [26]:

“El propósito principal del levantamiento de suelos es reconocer e identificar los cuerpos tridimensionales (suelo) que tengan significancia para un objetivo particular y plotear su distribución geográfica en base a un mapa”

Esta definición enfatiza el objetivo de un levantamiento de suelos. Note que la “distribución geográfica” puede ser mostrada en un mapa tipo cloroptico u otros tipos, en función al objetivo.

1.3.2 *Definición USDA*

Desde la primera edición en 1937, el Manual de Levantamiento de suelos de la USDA ha sido ampliamente utilizado y adaptado, especialmente en países de habla inglesa así como en Latinoamérica. Es así que a menudo nos referiremos a las definiciones de la reciente edición (3ra) [48]. Ellos definen levantamiento de suelos como sigue:

“Un levantamiento de suelos **describe las características** de los suelos en un área específica, **clasifica** los suelos de acuerdo a un sistema de clasificación estándar, **plotea los límites** de los suelos en un mapa y hace predicciones acerca del comportamiento de los suelos. Los diferentes usos de la tierra y como es la respuesta del suelo al manejo son consideradas en el diseño y ejecución del levantamiento. La información colectada en el levantamiento de suelos ayuda en el desarrollo de planes de uso de la tierra y evalúa y predice el efecto del uso de la tierra en el medio ambiente.”

De nuevo, note el énfasis en los objetivos del levantamiento. Veamos cada uno de los puntos:

- (1) Describe las características de un suelo en un área específica

Note que el primer punto se refiere a que los suelos son el objeto de estudio y que sus características deben ser investigadas. El objeto es describir “suelos”, no Geología, Geomorfología, geoformas, uso de la tierra, etc.

Puede ser que la forma más eficiente para *el mapeo y entender* los suelos es en base a la Geomorfología, pero al final un levantamiento de suelos muestra la condición de los suelos en el área.

(2) Clasifica los suelos de acuerdo a un sistema estándar de clasificación

El propósito de este paso es correlacionar los suelos de un área específica con suelos de otra región, así como estandarizar el mapeo dentro de un área específica de estudio. El sistema “estándar” de clasificación puede ser internacional, nacional o local.

El propósito más práctico de la correlación es permitir una eficiente transferencia de tecnología, por ejemplo: experiencias de un área para ser aplicadas en otra. Note que en algunos casos suelos con propiedades similares (de aquí, esperamos su clasificación) ocurren en áreas geográficas muy grandes y discontinuas, por ello la experiencia en un área puede con algunas modificaciones locales ser aplicada en otras áreas con los *mismos* suelos.

(3) Plotear los límites de los suelos en el mapa

Para casi todas las aplicaciones, los diferentes tipos de suelos deben ser separados en un mapa, por ejemplo, es la ubicación geográfica para cada suelo lo importante para el usuario. Así para cada lugar en el mapa, su tipo de suelo es indicado (porque está contenido en un polígono).

(4) Hacer predicciones acerca del comportamiento de los suelos

El levantamiento de suelos es una actividad fundamentalmente utilitaria. Este paso puede ser definido estrechamente usando solo datos de suelos. En este caso se llama interpretación del levantamiento de suelos o puede ser incluido en una actividad más amplia, la evaluación de tierras, que usa otro tipo de características (clima, uso de la tierra, etc).

Note que las predicciones pueden ser hechas por otros especialistas, no el edafólogo o preferiblemente por el que realiza el levantamiento de suelos (surveyor) y un especialista en interpretación juntos. En cualquier caso, el levantamiento de suelos debe contener las características de la tierra que son necesarias para hacer la predicción.

1.3.3 Definición de Dent & Young

Una definición similar escrita en un lenguaje más directo es la de Dent & Young [24]. Ellos comienzan con el propósito de un levantamiento de suelos y después como ese objetivo puede ser alcanzado.

“El propósito práctico de un levantamiento de suelos es hacer posible predicciones **más numerosas, mas exactas y más útiles para propósitos específicos** que han podido haberse hecho (por ejemplo, en la ausencia de información de suelos con ubicación). Para lograr este propósito, es necesario:

1. **determinar el patrón** del suelo; y
2. **dividir ese patrón** en unidades relativamente homogéneas; y
3. **mapear la distribución** de esas unidades, así facilitar la predicción de las propiedades del suelo en cualquier área y
4. **caracterizar las unidades mapeadas** de forma que se puedan realizar interpretaciones útiles acerca de su **funcionalidad** (potencialidad y limitación) y de la **respuesta a los cambios** que pueda ser objeto.

Note que el mapa y la leyenda no son por si solos el objeto del levantamiento de suelos. Al contrario, es el *uso* que se hará de el. (Por supuesto que desde el punto de vista pedológico, los suelos mismos son el objeto de interés). Note que Dent & Young no menciona correlación con un sistema de clasificación estándar.

Ambas definiciones, USDA y Dent & Young, sólo incluyen mapas tipo clase polígono-área como productos del levantamiento de suelos.

1.3.4 Definición personal

“El levantamiento de suelos o más propiamente el inventario del recurso suelo, es el proceso por el cual se determina el patrón de cobertura del suelo, caracterizándolo y presentándolo de forma entendible e interpretable para varios clientes”.

1.4 El levantamiento de suelos como un ejercicio en la estratificación del paisaje

En esta sección discutimos solo mapas tipo “**clase polígono-área**”, por ejemplo, mapas donde el espacio donde se da el levantamiento es **dividido en polígonos por límites precisos**, cada polígono es etiquetado con un **nombre clase** y cada clase es descrita en la **leyenda**.

Cada punto en el espacio pertenece exactamente a un polígono que tiene una etiqueta clase, por ejemplo, **cada punto es asignado a una categoría en la leyenda**. Así, **estratificamos** el paisaje. Este es el sentido del verbo “estratificar” o el adjetivo “estratificado” como es usado en estadística (por ejemplo: “muestreo estratificado al azar”) es una muestra al azar que toma una proporción definida de la muestra de cada clase (stratum).

Actualmente, puntos son ubicados con cierta incertidumbre tanto en el mapa como en el campo. Si un punto de muestreo cae dentro de un área de error generalmente el límite (este caso será discutido posteriormente), su asignación aun polígono es ambigua; con el propósito de predicción podrá ser asignado a cualquiera de los dos polígonos; con el propósito de evaluación del mapa es evaluada para ambos polígonos.

La gran pregunta es: **¿La estratificación produce alguna diferencia?** Por ejemplo, ¿podríamos considerar el espacio entero como una sola unidad? O una alternativa menos drástica, podríamos usar menos clases, menos líneas, menos longitud de línea sin afectar la utilidad de un mapa?

Una segunda pregunta es: **¿Encontramos la mejor estratificación?** Por ejemplo, aún si nuestra estratificación es efectiva (pregunta anterior), tal vez existe otra mejor.

La última pregunta: **¿Cuan valorable es la estratificación en el levantamiento de suelos?** Comparando a aquellas hechas por otras disciplinas. ¿Que mapa es mas útil?: suelos, geoformas, vegetación, uso de la tierra, tenencia de la tierra, agroclimatología, etc.

1.4.1 Objetivo 1: Estratificación para un mejor levantamiento de suelos & interpretaciones

Dos puntos de vista: productor y usuario del mapa de suelos

Productor: ¿La estratificación mejoró la **homogeneidad de las unidades de mapeo?**, por ejemplo, ¿son los suelos dentro de cada unidad de mapeo semejantes a los suelos tomados como un todo dentro el mapa general?

Usuario: ¿La estratificación hace de la predicción que se puede hacer de cada unidad de mapeo más precisa?

La **hipótesis**, que usualmente es correcta, es que una buena estratificación de parte del productor lleva a una buena estratificación por el usuario. Pero ellos son evaluados de diferente manera: el productor por las propias características del suelo y el usuario por el comportamiento o desempeño del suelo (respuesta al uso.).

Hipótesis 1: Suelos dentro de cada estrato (stratum) son *más similares* a cada uno respecto a propiedades de interés que la población toma como un todo. En otras palabras, ellos forman un grupo más homogéneo diferente de otros grupos.

Hipótesis 2: Suelos dentro de un estrato (stratum) son *menos variables* que la población de suelos tomados como un todo.

Ejemplos cualitativos (obvios)

Predicción del crecimiento de cultivos en suelos altamente contrastantes:

- (1) Suelos salinos mojado vs terrazas no salinas bien drenadas: la mayor diferencia es en toxicidad a las raíces.
- (2) Suelos superficiales rocosos en laderas empinadas vs suelos profundos sin fragmentos rocosos en pendiente ligera: las mayores diferencias son en escurrimiento vs infiltración, retención de agua & profundidad efectiva.

.....y muchos otros ejemplos con contrastes extremos dentro pequeñas distancias.

Ejemplos de modelamiento medioambiental

Ejemplo: eutrofización del agua subterránea (por P) debe ser más severa en suelos con baja capacidad de absorción de fosfatos; si las unidades de mapeo separadas por la

estratificación del levantamiento de suelos son más homogéneas con respecto a la capacidad de absorción del P. De hecho, esta es la base para los límites en la aplicación de estiércol en los campos de cultivo y pastura de Holanda.

1.4.2 Objetivo 2: Estratificar para muestreo adicional

Cuando muestreo adicional es requerido, por ejemplo en modelación ambiental, estudios de degradación de suelos, etc. Las unidades de mapeo establecidas en el levantamiento convencional de suelos son casi siempre el punto de inicio. La hipótesis es que este estrato permite un muestreo más eficiente.

Ejemplo: en un estudio de contaminación de aguas subterráneas, tendrá sentido estratificar el sitio de muestreo de acuerdo al potencial de lixiviación del suelo y concentrar nuestro esfuerzo en áreas donde pensamos que los contaminantes serán trasladados a las aguas subterráneas. En otras áreas podríamos muestrear con menor intensidad.

1.4.3 Objetivo 3: Estratificar con fines experimentales

Las unidades de mapeo pueden formar bloques según el diseño de bloques al azar en agricultura u otro tipo de experimento en el uso de la tierra.

1.4.4 Objetivo 4: Estratificar para el modelo continuo de variación espacial

La estimación geo-estadística es usualmente mejorada a través de la estratificación, ya que se encarga de remover la fuente de variación. Los puntos de observación pueden ser corregidos por los valores esperados en cada estrato (stratum), entonces la estructura espacial no tomada en cuenta por los estratos pueden ser vistos. Ejemplos en [49].

1.5 ¿Serán los mapas de suelos útiles? Una primera vista

Veremos como calcular los valores predictivos de mapas de suelos posteriormente. Por ahora, solo presentaremos algunos resultados para tener una idea de cuan satisfactorio puede ser un levantamiento de suelos. Consideramos la pregunta: **¿Cuan efectivo fue el levantamiento de suelos en la separación de la variabilidad en el área mapeada?** En otras palabras, del total de la variabilidad del área estudiada, ¿cuanto fue removida por mapa y su clasificación? Matemáticamente, esto puede ser medido por la proporción de varianza de una propiedad explicada en las clases mapeadas.

La correlación intraclass (The Intraclass Correlation) desarrollada por Webster and Oliver [56] para este propósito. Intuitivamente, el valor 1 significa que el mapa explica toda la variación de una propiedad del suelo, un valor 0 significa que el mapa es inútil para explicar la variación. Es obvio que cuando el valor este más cercano a 1 mejor.

La siguiente tabla es un ejemplo de Webster & Oliver que muestra la correlación intra clase para varias propiedades predecidas a partir de unidades de fotointerpretación en un ejercicio del análisis de terreno original de Beckett & Webster en mediados de 1960.

Propiedad del suelo	Correlación intraclase (0...1)
% Arcilla	0.61
pF en verano	0.66
Resistencia del suelo en invierno	0.70
%Materia orgánica	0.28
pH	0.33
K disponible %	0.06

Estos resultados son medianamente típicos de un levantamiento de suelos, aunque el paisaje y el sistema de clasificación, así como la destreza del mapeador tienen fuerte influencia en los resultados. En general, las propiedades físicas son más fácilmente separadas que las químicas, el subsuelo (subsoil) más que la superficie del suelo (topsoil) en áreas cultivadas. Las propiedades que son cercanamente correlacionadas con rasgos externos visibles (elementos del paisaje mapeables en un fotografía aérea) también son fáciles de separar.

1.6 Tipos de levantamiento de suelos

En todos los casos la meta de un levantamiento de suelos es mostrar la distribución geográfica de los suelos. Pero existen diferencias importantes en el objetivo del levantamiento y de ahí los métodos. Podemos distinguir:

- (1) Levantamientos de suelo con propósito especial y propósitos generales.
- (2) Levantamientos con unidades de mapeo simples y compuestas (una etapa vs. dos etapas).
- (3) Levantamientos tipo demanda del usuario (demand-driven) y tipo oferta (supply-driven)

1.6.1 Levantamientos de suelo con propósito especial y general

Levantamientos de suelo de características simples

Este representa el caso extremo de un levantamiento con propósito especial. Una característica específica del suelo (o pocas al mismo tiempo) puede ser medida y los límites entre clases predefinidas de estas características son mapeadas. Los límites de la unidad de mapeo son directamente aplicables a su uso. Un ejemplo típico es un mapa de salinidad y un mapa separado de grados de infiltración, ambos en un proyecto de riego.

Levantamientos de suelo con propósito especial

Este tipo de levantamiento es diseñado para un objetivo simple y bien definido. El ejemplo clásico es un levantamiento para identificar las áreas de riego potenciales dentro un proyecto de riego. Otro ejemplo es la planificación con fines de conservación de un área, donde el objetivo es asignar prácticas correctas de conservación a cada pedazo de tierra. Contrariamente al levantamiento con características simples, las unidades de mapeo están definidas a través de una combinación de características relevantes.

La **ventaja** de este tipo de levantamiento es que conocemos las propiedades de interés con propósito específico y nos concentramos en mapear solo ellas, de esa forma el mapeo es más rápido y puede ser hecho con gente con menor experiencia (no solo edafólogos de mucha experiencia). Pero no registraremos propiedades que son vitales con otros fines.

La leyenda con propósitos especiales: las unidades de mapeo son descritas por sus propias propiedades; por ejemplo, no existe una leyenda típica, mas bien una leyenda descriptiva. Cada delineación recibe un símbolo que directamente indica las propiedades mapeadas. Por ejemplo: "3a-d-1" significa "clase textural 3", "clase de pendiente a" "clase de profundidad d", "clase de erosión 1". La leyenda muestra específicamente el propósito del mapa y puede ser directamente traducido en el objetivo del levantamiento.

Ejemplo: Sistema Brasileiro para el mapeo directo del ambiente físico [41].

La **desventaja** de este tipo de levantamiento es que es **inútil para otros objetivos**. Puede ser económicamente barato como un levantamiento de propósito general, al menos en la estratificación del paisaje sino la caracterización a detalle.

Asimismo, existe un problema en la definición de límites cuando no existe el concepto de suelo como cuerpo natural. Algunas veces está basado al nivel de parcela: existen unidades de explotación directamente clasificadas de acuerdo a sus propiedades.

Levantamientos de suelo con propósitos generales

Proveen las bases para una variedad de interpretaciones de varios tipos de uso, presentes y futuros, incluyendo algunos que no nos podemos anticipar ahora.

La **ventaja** es que el levantamiento puede ser re-utilizado muchas veces con varios propósitos, asumiendo que el levantamiento tiene una correcta estratificación del paisaje. De hecho, los estratos pueden ser re-muestreados más tarde para identificar características que no fueron estudiadas en la primera fase.

La **desventaja** es que este tipo de levantamiento no es ideal para un propósito específico; también no nos podemos anticipar a necesidades futuras. Por ejemplo, levantamientos con propósitos generales antes de la década 70 aplicada a estudios de contaminación de aguas subterráneas; estimaciones de carbón (fuertemente influenciada por manejo) de mapas de suelos a nivel serie. Otra desventaja es el **costo**. Algunos análisis muy caros nunca son usados.

Hipótesis de un levantamiento con propósito general

¿Porque los edafólogos creen que un levantamiento con propósito general tiene usualmente mejor costo/beneficio?.

Hipótesis 1: Los suelos son cuerpos naturales formados procesos naturales y antrópicos por lo cual las características de la tierra co-varían, por ejemplo, no todas las combinaciones de las características de la tierra ocurren.

Hipótesis 2: El patrón espacial de estos cuerpos naturales puede ser predecidos y correlacionados a rasgos externos que pueden ser fácilmente mapeados sobre todo el paisaje, ciertamente mucho más fácil que un muestreo exhaustivo. Podemos predecir por combinaciones de geomorfología, vegetación, uso actual de la tierra y datos históricos.

Hipótesis 3: Los suelos como cuerpos naturales son la forma más efectiva de información porque brindan muchas características de la tierra en un patrón predictivo. Si cierta característica o cualidad de la tierra no es medida durante el levantamiento, puede ser hecho después, cuando un nuevo uso de la tierra sea previsto y la estratificación establecida en el levantamiento con propósito general se encargara del muestreo, experimentación y la predicción de forma más eficiente.

1.6.2 Unidades de mapeo predominantemente simple vs. Compuesta

Los levantamientos pueden ser clasificados de acuerdo a, si intentan mostrar **unidades de mapeo simples** en la mayoría de las delineaciones o, si tratan de mostrar **unidades de mapeo compuesto**, por ejemplo unidades de mapeo con dos o más constituyentes, las cuales no están separadas en el mapa.

Hasta cierto punto esto es cuestión de la escala: escalas grandes tienden de mostrar unidades de mapeo simples y escalas pequeñas tienden a mostrar unidades de mapeo compuestas. Sin embargo, a cualquier escala la decisión puede ser hecha negociando el **detalle categórico** por la **pureza de la unidad de mapeo**.

Mapas de suelos de dos etapas (two-stage)

Beckett [4] llama a los mapas con unidades de mapeo compuesta “mapas de dos etapas (two stage maps)”. El establece que incluso si un mapa publicado no delimita los suelos como cuerpos homogéneos, este puede ser aún útil si es que el usuario del mapa puede encontrar los suelos como cuerpos homogéneos en el campo o en un fotografía aérea, con la ayuda de la descripción de la unidad de mapeo compuesta en el reporte. Su propuesta fue en el contexto de un mapeo extensivo a pequeña escala para evaluación de tierras.

1.6.3 Levantamientos tipo demanda del usuario (demand-driven) y tipo oferta (supply-driven)

Esta es otra forma de clasificar los tipos de levantamiento, algo ligado a los anteriores.

Demanda del usuario (demand driven)

En base a la demanda, para uno o mas propósitos específicos, para “explotar” el recurso suelo; explícitamente utilitario; debe proveer información para un juego específico de interpretaciones; cualquier información adicional es superflua y no cuenta como beneficio del levantamiento. Producimos un mapa de solo los factores que son requeridos por el cliente. Un ejemplo es un levantamiento de suelos para un proyecto de desarrollo.

Este debe ser el caso en aplicaciones de **evaluación de tierras** donde el Tipo de Utilización de Tierra (TUT), su Requisito de Uso de la Tierra (RUT) y las Características de la Tierra (CA) se definen primero (por los objetivos del proyecto de desarrollo) y después los datos son recolectados. Todo lo que necesitamos aquí es las características de la tierra diagnóstico y podemos completar la evaluación.

Oferta del producto (supply-driven)

Generamos un mapa básico de la cobertura edafológica utilizando la mejor práctica científica. Este mapa trata de proveer de la forma mas clara la geografía del suelo. Suponemos que la estratificación será útil para muchas interpretaciones y también servirá como la base para futuras estrategias de muestreo.

De hecho, "supply-driven" hace (implícita o explícitamente) suposiciones acerca de los posibles usos que el mapa puede responder. No existe otra forma de decidir la escala correcta, composición de la leyenda y métodos de levantamiento.

2 ¿Que mapeamos en el levantamiento de suelos?

Antes de discutir el levantamiento de suelos, debemos estar claros en cual es el suelo que queremos mapear y como este concepto se relaciona con la idea amplia de “tierra”, la cual muchas veces es incluida en nuestros levantamientos. Un mapa práctico de suelos casi siempre incluye áreas sin suelo e incluso en áreas con “suelo” características de la tierra no edafológicas. El debate en ¿qué es suelo? Es interesante de por si solo y tiene implicaciones para el levantamiento de suelos.

Primero discutiremos los terminos “tierra” vs. “suelo”

2.1 ¿Que es tierra?

La definición de sentido común: “parte sólida de superficie terrestre (lo opuesto a mar, agua y aire)” [51].

El término neo-Griego “Geoderma” (=”piel terrestre), es el nombre de una revista científica concerniente con la ciencia del suelo.

Una definición técnica de “tierra” adaptada y extendida de [28]:

“**Tierra**: un **área de la superficie terrestre**, donde las características que abarca son razonablemente **estables o predeciblemente cíclicas**. Los atributos que corresponde a la Biosfera verticalmente arriba y debajo esta área, incluyen:

- la atmósfera
- el suelo
- la geología y geformas asociadas
- la hidrología
- la flora
- la fauna
- poblaciones microbiologicas y
- los resultados de la actividad humana pasada y presente.

....al extremo que estos atributos ejercen una influencia significativa en usos presentes y futuros de la tierra por la humanidad.

La idea es que la tierra tiene una *extensión geográfica* y es descrita por *todas las características que pueden influenciar el uso de la tierra*. Esta claro de esta definición que “suelo” solo es una parte de la “tierra”. También esta claro que un mapa de tierras será más útil que solo un mapa de suelos.

2.2 ¿Que es suelo?

Como vimos en la definición previa, “el suelo es un componente de la “tierra”. Pero, ¿a que exactamente nos referimos con suelo?. Sin sorprendernos, esto ha causado controversias por muchos años. Primero definiremos “suelo” y después discutiremos nuestro objeto de mapeo.

Definición del diccionario [51]

“Capa superior de la tierra en la que crecen las plantas, consiste de rocas desintegradas usualmente con una mezcla de remanentes orgánicos”

Esta definición excluye rocas sólidas y desiertos, que son considerados como materiales geológicos simplemente. Excluye materiales de la tierra que no pueden servir como medio para el crecimiento de las plantas.

Definición pedologica [26]

“La diferencia fundamental y posiblemente la única diferencia entre suelo y otros materiales geológicos no-consolidado, es que en el caso del suelo los materiales han sido organizados por procesos naturales no deposicionales en horizontes”.

En esta definición, el suelo es **un cuerpo natural de material no-consolidado** que se forma en la superficie terrestre por **procesos pedogenéticos**. Esta definición excluye sedimento fresco y material geológico intemperizado que no sufrió pedogénesis. Estas áreas son mapeadas, pero no como suelo, más bien como geología superficial.

Esta definición parece excluir materiales terrestres que han sido organizados o fuertemente influenciados por actividad humana.

Otra definición pedologica [7]

“El suelo es capa superior de la corteza terrestre que puede soportar el desarrollo del sistema radicular de las plantas o esta capa ha sido alterada por la acción física, química o biológica”.

Los autores añaden: “Así, la roca sólida y sedimentos perdidos no son “suelo2 desde el punto de vista de la ciencia del suelo”.

Definición por su función como una interfase

Los procesos naturales de pedogenesis tienen lugar en la **interfase** entre atmósfera, biosfera, litosfera, hidrosfera y antrosfera. Algunos autores consideran solo su posición como una interfase [2].

Definición Taxonomía USDA [46]

“Suelo es el término colectivo usado.....para los cuerpos naturales, formados de material mineral y orgánico, que

- cubre la mayor parte de la superficie terrestre
- contiene materia viva y soporta el crecimiento vegetal
- en algunos lugares ha sido cambiado por la actividad humana

“El **límite superior** del suelo es aire o agua superficial”

“El **límite inferior** del suelo es difícil de definir. El suelo consiste de los horizontes cerca de la superficie terrestre la cual en contraste al material rocoso fundamental, ha sido

alterado por las interacciones en el tiempo entre el clima, relieve, material parental y organismos.

“Sin embargo, el suelo no necesita tener horizontes discernibles, aunque la presencia o ausencia de horizontes y su naturaleza es de importancia extrema con fines de clasificación. En algunos lugares donde el suelo contiene horizontes cementados que son impermeables a las raíces, es considerado hasta la profundidad de ese horizonte. En algunos casos, el límite inferior del suelo es normalmente el límite más bajo de la actividad biológica la cual coincide con la profundidad de enraizamiento.

Notas: (1) el requerimiento para ser soporte al crecimiento de las plantas significa que proveyendo los insumos al suelo, la vegetación puede desarrollarse. Esto no significa que la vegetación debe estar presente. Es así que los desiertos están incluidos pero no los glaciales. (2) El límite de los 200 cm contradice directamente la siguiente frase! Actualmente, ellos no dicen que no exista suelo debajo de los 200 cm, simplemente que no usamos ningún horizonte inferior para clasificar el suelo. (3) La definición parece excluir áreas donde el suelo natural ha sido fuertemente influenciado por la actividad humana, al menos hasta que nuevos cuerpos naturales se formen.

Algunas clarificaciones adicionales del Manual de Levantamiento de Suelos USDA [48]

“Los “cuerpos naturales” de esta definición incluyen todas las partes genéticas relacionadas al suelo.

“La definición incluye como suelo todos los cuerpos naturales que contienen materia viviente y son capaces de soportar plantas aunque ellos no tengan partes genéticamente diferenciadas. Un depósito aluvial reciente o un relleno artificial es suelo si este puede soportar plantas.

“**Para ser suelo, un cuerpo natural debe contener materia viva.** Esto excluye suelos enterrados bajo los efectos de organismos. Esto no quiere decir que suelos enterrados no puedan ser caracterizados por referencia a las clases taxonómicas. Simplemente significa que no son miembros de la colección de cuerpos naturales llamados suelo; ellos son Paleosuelos.

“**No todos los ambientes capaces de soportar plantas son suelos.** Cuerpos de agua pueden soportar plantas flotantes como algas, estos no son suelo, pero el sedimento debajo de aguas superficiales es suelo si este puede soportar enraizamiento de plantas en la base.

2.2.1 Controversias principales en la definición de “suelo”

En esta sección discutimos algunas controversias acerca de la definición de “suelo”. Si hacemos un *mapa de suelos*, debemos conocer que propiedades están consideradas como *suelo* y cuales no. En la próxima sección consideraremos si debemos hacer un mapa de suelos puro o un mapa de suelos con algunas características no edafológicas. De hecho en la definición de suelo, esta puede o no incluir alguna propiedad y esta puede aun aparecer en el mapa de suelos.

(1) ¿Es necesario incluir al clima en la definición de suelo?

Sabemos que el clima afecta la formación del suelo. Pero, ¿es el clima del suelo considerado como una de sus **propiedades** y por ello debe ser **incluido en la clasificación y mapeo de suelos**?

Si: dice la Taxonomía de Suelos [46]. El clima del suelo es un diagnóstico para muchos usos de la tierra y asociado con muchas características y procesos del suelo. El clima del suelo (interno) está incluido en la definición de “suelo” incluso al nivel más alto de la clasificación (ej: Aridisoles) y debajo. Los regímenes de humedad y temperatura de los suelos (media y estacional) son extremadamente importantes en las funciones del suelo. El clima es una característica del **suelo**. En la práctica, muchas veces estimamos el clima del suelo del clima atmosférico, pero idealmente deberíamos medir el clima del suelo directamente.

No: French [3], World Reference Base (WRB) [9, 23, 30]. Mapea la morfología del suelo, en el caso en que la morfología ocurra solo en algunos climas, así será. El concepto de “tierra” ciertamente incluye el clima, pero el concepto de “suelo” no. En la práctica el WRB define conjuntos morfológicos cercanamente ligados a un clima particular, por ejemplo, “las propiedades edáficas arídicas”. En el enfoque WRB, la metodología de Zonas Agro-ecológicas de la FAO [27, 29] es usada separadamente para evaluar el clima.

Definitivamente el clima del suelo es necesario para la interpretación. Pero si es el clima atmosférico: por ejemplo, helada, roció, humedad atmosférica, etc, esto no es el clima del suelo. Estos influyen incluso la interpretación del suelo como en la arabilidad.

Una consideración práctica: cualquier atributo que sea incluido por el mapeador, debe ser mapeable. El clima del suelo no es directamente mapeable, pero es relativamente fácil inferir de simples cálculos u observaciones en la vegetación nativa. El clima del suelo varía mucho menos que el clima atmosférico.

(2) ¿Esta la geoforma (landform) incluida en la definición de suelo?

Sabemos que la forma de la tierra tiene fuerte influencia en la formación del suelo y el uso de la tierra, ¿pero debemos considerar la posición en el paisaje como una propiedad del *suelo* e indicarla en la leyenda?

Si: la forma de la tierra es útil para hacer interpretaciones, además de que la función del suelo en el paisaje muchas veces varía con la posición del paisaje, incluso si sus propiedades internas estáticas son las mismas. Si consideramos al suelo como unidad dinámica funcional en el paisaje, debemos incluir la posición del paisaje. En la práctica, esta posición ayuda al mapeador y usuario a identificar el cuerpo suelo.

No: Mantenga las geoformas como un mapa separado, mapee solamente las propiedades estáticas del suelo.

En la práctica muchos suelos muestran propiedades estáticas que están también influenciadas por la posición del paisaje, de ahí que están mapeados de forma separada. Pero algunas veces no: terrazas ocasionalmente inundadas vs. Terrazas sin inundación.

(3) ¿Cuan profundo puede ser un suelo?

La definición original de solum fue la superficie del suelo topsoil (Horizontes A) + subsuelo (Horizontes E y B); mientras que los horizontes C fueron definidos como estrato con pequeñas evidencias de pedogenesis. De ahí que se infirió que los horizontes C tienen muy poca actividad biológica incluyendo las raíces. Entonces la “profundidad efectiva del suelo” fue considerada el espesor del solum. Muchos estudios mostraron ahora que las zonas de enraizamiento y la zona de actividad biológica pueden ser muy profundas e incluir obviamente horizontes C, en el sentido morfológico en el caso de “profundidad efectiva del suelo” desde un punto de vista funcional incluye estas capas profundas. Si los horizontes B descansan en rocas madre dura, el espesor del solum es obviamente el espesor del suelo.

Existe evidencia de actividad biológica a los 10 metros en algunos suelos tropicales. Si la napa freática es muy profunda, la zona de infiltración es también muy profunda. En general excluimos de la zona edáfica a procesos de intemperismo puramente químico, esto es muy difícil de definir.

Por todas estas razones, existe un movimiento dentro la ciencia del suelo para estudiar los estratos profundos; esto se llama “pedología del regolito total” [19].

Problema práctico: ¿cómo mapear estas capas profundas? Ellas no están relacionadas a propiedades externas que nosotros usamos en el mapeo de suelos.

En la práctica muchas organizaciones encargadas del levantamiento de suelos establecen una profundidad arbitraria de investigación, determinada por el esfuerzo necesitado para mapear a esa profundidad y el valor de las interpretaciones. Investigaciones adicionales del subsuelo pueden ser hechas en pocos sitios, para obtener una idea general del substrato, sea o no considerado suelo.

(4) ¿Son los horizontes cementados del suelo considerados suelo?

Horizontes petrocálcicos, duripanes, plintita cementada, etc, son definitivamente productos de procesos pedogenéticos. Pero usualmente estos detienen el crecimiento radicular y la actividad biológica. Entonces, ¿la definición de “suelo” deberá detenerse en estas capas o deberán ser incluidos en el suelo?

Si: ellos fueron producidos por la pedogenesis, por tanto están genéticamente ligados con el resto del suelo.

No: actualmente son materiales geológicos superficiales secundarios y no suelo; su única función es como límite de la actividad edáfica.

(5) ¿Qué posición respecto a áreas de tierra estériles?

En otras palabras, ¿deben las plantas crecer en un área de tierra para ser considerado suelo?

Por ejemplo, áreas altamente salinas, superficies rocosas, gravas, desechos de mina, etc. Tal vez esto depende en los gastos de recuperación, es decir cuan lejos están de ser suelo.

En cualquier caso, estos deben ser delineados en el mapa y caracterizados hasta cierto punto.

(6) ¿Qué acerca de materiales fuertemente influenciados por el hombre?

Ejemplo: represas, desechos mineros, dunas de arena niveladas, areas mixtas, etc.

El pensamiento actual en USA es incluir estas areas al "suelo" porque son expuestas a los procesos formadores del suelo o si ellos pueden soportar plantas. En la practica, estos materiales se encuentran en la superficie terrestre. De hecho la Taxonomía de suelos tiene un grupo activo trabajando en el orden "anthrosols".

En cualquier caso, estos deben ser delineados en el mapa y caracterizados hasta cierto punto.

2.2.2 *¿Que mapeamos actualmente en un levantamiento de suelos?*

Opciones: tierra, suelo, suelo + algunas condiciones de la superficie de la tierra, suelo + otro material superficial,....el resto del mapa será cubierto por áreas misceláneas como cuerpos de agua.

(1) Condiciones de la tierra

El propio suelo; forma de la tierra, condiciones de la superficie (ej. piedras); agua subterránea y regimen superficial del agua; substrato; usoa actual de la tierra; clima

Obviamente más útil que solo el suelo

Problema: más difícil

Problema: algunos límites pueden no coincidir; podemos obtener unidades de mapeo pequeñas. Esto puede evitarse hasta cierto punto usando unidades de mapeo fisiográficas.

(2) Suelo

Solamente las propiedades de los suelos de acuerdo a alguna definición de "suelo". Pero esta no toma algunas características importantes que influencia el uso de la tierra y que son fácilmente vistas y mapeables por el mapeador.

Áreas "no suelo" son delineadas pero no caracterizadas.

(3) Suelo y algunas condiciones de la superficie de la tierra

En la práctica este es el mapa de suelos más común. Las fases (phases) de las unidades de mapeo incluyen: pendiente, micro-relieve, pedregosidad.....posteriormente se presentara una lista de fases.

(4) Incluyen otros materiales superficiales

Si el “suelo” es estrechamente definido, este permitirá el mapeo de áreas con influencia humana.

En cualquier caso esto permitirá el mapeo de la geología superficial que no es considerada suelo, por ejemplo afloramientos rocosos, dunas de arena, etc. Esto tiene que ser caracterizado hasta cierto punto.

(5) El SIG como solución

Cada disciplina produce su propio mapa, estos mapas pueden ser integrados en un SIG (geo-referencia común).

Precaución: se debe tener mucho cuidado en **definir límites comunes solo una vez**; por lo tanto debemos establecer una **jerarquía** de límites basados en su importancia y relación lógica.

Solución 1: un proyecto de levantamiento integral

Solución 2: al construir el SIG, se consensuara con todo el equipo técnico los límites a utilizar. Este será el principio para los posteriores análisis principalmente el del paisaje. Cada levantamiento puede subdividir las unidades en sub-unidades de paisaje si es necesario, pero los límites de los principales paisajes nunca deben ser dibujados mas de una vez. Un mapa geopedológico puede ser una excelente base para ello.

2.3 El suelo como continuo (continuum) y como individuo

Claramente el suelo varía continuamente en el espacio geográfico. En esta sección examinaremos la naturaleza de esa variación y como el mapeo de suelos propone lidiar con él.

2.3.1 *La variación natural del suelo como un continuo en el paisaje*

Como los factores formadores del suelo varían en el paisaje, su producto directo “suelo” varía de la misma forma. Tratamos de mapear esta variación directamente con el **modelo de variación espacial continuo** [34] o podemos tratar de dividir esta continuidad con el **modelo de variación espacial discreto**.

Tipos de propiedades: internas vs. externas

Propiedades **internas** del suelo: **lo que queremos mapear**, sean de la leyenda de mapeo y/o del sistema de clasificación, por ejemplo el espesor y propiedades de cada horizonte.

Propiedades **externas**: **lo que fácilmente podemos observar** en el campo o en las fotografías aéreas. Por ejemplo: la forma de la tierra o geoforma, la posición en el paisaje, pendiente, vegetación, color de la superficie, humedad de la superficie, etc.

Tipos de propiedades: diagnóstico, diferenciación, accesorio, accidental

Diagnóstico: deben estar separadas en el mapa; se requieren para la leyenda del mapa (la cual puede ser un sistema de clasificación), por ejemplo el espesor del horizonte, color, pH, etc. Estas pueden ser fáciles o difíciles de determinar en el campo.

Diferenciación: una propiedad usada para el mapeo, frecuentemente una propiedad externa, por ejemplo la posición de la pendiente en una catena. Debe ser fácil de observarla en campo y bien correlacionada con las propiedades diagnóstico.

Accesorio: están separadas en el mapa porque ellas ocurren con las propiedades de diferenciación. Usualmente son más difíciles de mapear directamente que las propiedades de diferenciación, por ejemplo el espesor de horizontes vs. posición de la pendiente. La situación ideal es cuando una propiedad diagnóstico es bien correlacionada con una propiedad de diferenciación, entonces el mapeo es fácil.

Accidental: no tiene relación con lo que está siendo mapeado, su ocurrencia es por accidente. Por ejemplo: el pH superficial en un área con actividad agrícola es determinado por un análisis histórico del uso de la tierra y pobremente correlacionado con el tipo de suelo, por tanto no lo utilizaremos para el mapeo de suelos.

2.3.2 Límites

Los límites entre polígonos en un mapa tipo *area-clase* son de varias clases:

Abrupto vs. gradual

Abrupto: línea más o menos clara en el paisaje (y casi siempre en la fotografía aérea.).

Gradual: una zona de transición. Si es lo suficientemente amplia (de acuerdo a sus medidas en el mapa), puede ser mapeada separadamente.

Natural vs. artificial

Natural: de la combinación de los factores formadores del suelo reconocidos en el paisaje. Dibujamos las líneas donde reconozcamos cambios significantes en uno o más factores formadores del suelo. Por ejemplo un escarpe entre dos terrazas con material parental similar pero diferencias cronológicas significativas.

Artificial: de un criterio externo impuesto, como un sistema de clasificación que establece normas para ello. Por ejemplo, podemos tratar de dividir dos series de suelo que difieren solo a nivel familia en la clase de tamaño de partículas: limo fino vs. franco fino. Cualquier pedon simple puede ser asignado a cualquiera de las dos series.

Tratamos de dibujar el mejor límite basado en nuestra iniciativa, pero no existen características externas o de diferenciación que nos ayuden. Con mayor investigación, estos límites muchas veces serán desechados por ser pobremente ubicado.

2.3.3 *¿El suelo como individuo?*

Obviamente, no existe el suelo “individuo” en el sentido de un individuo como un árbol o animal.

Knox [38] argumenta que no existe necesidad de individuo:

“El énfasis en individuos en la clasificación de suelos resulta principalmente de la idea que una clase es una agregación de individuos. La idea de que una clase es un rango de aplicabilidad del concepto clase elimina este énfasis innecesario”

En este punto de vista, clasificamos nuestro espacio conceptual (por ejemplo la clase de tamaño de partículas como una clasificación de un espacio continuo trivariado). No obstante, ciertamente aun existe una **unidad de muestreo** (observación) que ahora discutiremos.

El Pedon

Este concepto fue introducido con las aproximaciones tempranas de la taxonomía de Suelos [46]:

“El pedon es presentado en la Taxonomía de Suelos como una **unidad de muestreo dentro el suelo**. Los límites en el área de un pedon establecen reglas para decidir si se considera uno o dos tipos de suelo dentro de un patrón de pequeña escala de variabilidad lateral. **Un pedon** es considerado como el **cuerpo más pequeño** de un tipo de suelo suficientemente grande para representar la naturaleza y arreglo de horizontes y la variabilidad en las otras propiedades que son preservadas en muestras.

“Un pedon se extiende hasta el límite inferior del suelo. Se extiende a través de todos los horizontes genéticos y si estos son delgados, dentro de la parte superior del material inmediato. El pedon incluye la zona de enraizamiento. Con propósitos de levantamiento de suelos, el **límite práctico inferior del pedon** es la **roca madre o a una profundidad de aproximadamente 2 m**. La profundidad de 2 m brinda una buena muestra de los horizontes principales. Incluye la mayor parte del suelo penetrado por las raíces de las plantas y permite observaciones confiables de las propiedades del suelo.

“La superficie de un pedon es aproximadamente poligonal y varía de 1 a 10 m² de área, dependiendo en la naturaleza de la variabilidad en el suelo.

1. Donde el ciclo de variaciones es menor a 2 m y todos los horizontes son continuos y uniformes en espesor, el pedon tiene un área de aproximadamente 1 m².
2. Donde los horizontes u otras propiedades son intermitentes o cíclicas sobre un intervalo de 2 a 7 m, el pedon incluye un medio del ciclo (1 a 3 ½ m).
3. Si los horizontes son cíclicos sobre un intervalo mayor a 7 m, cada ciclo es considerado a tener mas de un suelo.

Una consecuencia practica muy importante de esta definición es que el límite lateral de un “suelo individuo” es en su mayoría 3 ½ m.

El Polypedon

El pedon, como concepto “punto” no es útil en el mapeo. Tiene dos limitaciones fundamentales:

1. Tiene una **extensión limitada** (pequeña), es decir no puede mostrar características macro de un paisaje, específicamente geoformas locales (pendiente, curvatura), posición del paisaje, pedregosidad, erosión, etc; las cuales son esencialmente **conceptos área** (área concepts), mientras que el pedon es un concepto “punto” (actualmente un área muy pequeña).
2. No exhibe ninguna **variabilidad espacial** incluso de la clase de suelo que se supone representar, simplemente la variabilidad interna dentro un “punto”.

Por tanto la Taxonomía de suelos introduce el concepto de Polypedon:

“El pedon es considerado muy pequeño para exhibir rasgos mas extensos, como la pendiente y pedregosidad. El polypedon es presentado en la Taxonomía de Suelos como una **unidad de clasificación**, un cuerpo de suelo **homogéneo al nivel de serie** y suficientemente grande para exhibir todas las características del suelo consideradas en la descripción y clasificación de suelos.

Los polypedones enlazan los cuerpos reales de suelos en la naturaleza a conceptos mentales de las clases taxonómicas”.

La necesidad de tener una superficie de tierra real para mapear es clara. La gran controversia viene con la idea de la existencia de un área contigua, compacta y continua en la cual todos los pedones se clasifican en el mismo taxon (ej. Series de suelo).

El nuevo Manual de levantamiento de suelos [48] discute ampliamente el concepto de polypedon:

“En la practica el concepto de polypedon ha sido ampliamente ignorado y muchos edafólogos consideran al pedon o algún cuerpo indefinido de mas o menos la misma representación que un pedon suficiente para clasificar o mapear. Raramente los polypedones, si alguna vez, sirven como el objeto real que queremos clasificar o mapear porque la dificultad extrema de encontrar el límite de un polypedon en campo y por la misma naturaleza contradictoria y circular del concepto. Los edafólogos (soil scientists) han clasificado pedones más allá del límite en cuanto a su tamaño, inconscientemente o deliberadamente transfiriendo al pedon cualquier propiedad extensiva del área alrededor del suelo.

“.....el **pedon como punto**....combina la **posición fija de un pedon** con la consideración de **cualquier área que sea necesaria** para identificar y medir las propiedades bajo consideración [36]. Este concepto, combinado con el criterio de escala para la variabilidad lateral a ser considerada dentro un tipo de suelo, pudo establecer el pedon como la unidad básica de clasificación y eliminar la necesidad para el polypedon”

Solum & systemes pedologiques

Los franceses tienen una idea diferente del suelo como individuo, como se encuentra explicado en el Referentiel Pedologique [3]. No existe el suelo individuo, simplemente la *unidad de muestreo* "1 + dimensión":

Solum: La pared vertical de un perfil del suelo preferiblemente hasta la roca subyacente, con pocos decímetros de ancho y con pocos cm de espesor (suficiente para incluir la estructura).

La "1 + dimensión" se refiere al hecho que solo la dimensión vertical está totalmente expresada; las dimensiones lateral y frontal (dentro del perfil) no están completamente muestreadas.

(Note que esta definición de solum varía con la definición Americana [1]: "solum: un conjunto de horizontes que están relacionados a través del mismo ciclo de procesos pedo-genéticos; los horizontes A, E y B.").

Problema: ¿qué acerca de estructuras a gran escala? Por ejemplo: polígonos fragipan que varíen entre 1 a 5 m?

Entonces, el Referentiel Pedologique introduce la noción de unidad básica de muestreo tri-dimensional:

Horizonte: volúmenes homogéneos tri-dimensionales de material suelo.

Estos son concebidos como una extensión en tres dimensiones, generalmente paralelo a la superficie de la tierra. Es decir un solum no tienen horizontes, simplemente nos permite ver un corte transversal de algunos horizontes.

(Note que esta definición de "horizonte" es similar a la definición americana [1]: horizonte del suelo: una capa de suelo o material suelo aproximadamente paralela a la superficie de la tierra y difiere a las capas genéticamente adyacentes en sus propiedades físicas, químicas y biológicas o sus propiedades como color, estructura, textura, consistencia, tipos y números de organismos presentes, grado de acidez o alcalinidad, etc.)

Finalmente, la ocurrencia de ciertos grupos de horizontes es considerada sistemáticamente; están definidas como:

Sistema pedológico: varios horizontes asociados en un patrón espacial específico tridimensional.

El sistema pedológico típicamente ocupa 1000 m² a 10000 m², similar a un polipédon.

3 Escala de mapa, detalle y orden en el levantamiento de suelos

En esta sección discutiremos los conceptos estrechamente ligados de escala de mapa, detalle cartográfico, detalle categórico y orden de levantamiento (tipo & densidad de observaciones y definición de unidad de mapeo). La idea básica es que estos deben estar en armonía, de acuerdo a las necesidades del usuario, el presupuesto y la variabilidad del paisaje respecto al paisaje y el suelo.

3.1 Escala de mapa

La escala de publicación del mapa de suelos es un parámetro fundamental que limita en gran medida otro tipo de decisiones respecto al levantamiento. Es especialmente importante ver la escala del mapa desde el punto de vista del cliente: ¿que puede mostrar el mapa?

Note que aunque un programa SIG vectorial puede mecánicamente agrandar o reducir de tamaño un mapa, la escala original de publicación es aun una etapa crítica de la cobertura SIG.

3.1.1 Definiciones preliminares

Factores de conversión

Unidades: metros (m), centímetros (cm), milímetros (mm), kilómetros (km), hectáreas (ha).

Medidas lineales: $1\text{m} = 100\text{cm} = 1000\text{mm}$; $1\text{ km} = 1000\text{m}$

O, usando exponentes: $1\text{ km} = 10^3\text{m}$; $1\text{ cm} = 10^{-2}\text{m}$; $1\text{mm} = 10^{-3}\text{m}$

Medidas de área: $1\text{ha} = 10000\text{ m}^2 = (100\text{m})^2$; $1\text{km}^2 = 100\text{ha} = 1000000\text{ m}^2$

O, usando exponentes: $1\text{ha} = 10^4\text{ m}^2$; $1\text{km}^2 = 10^6\text{ m}^2$

Cuando discutimos respecto a la escala y el tamaño de la delineación, debemos estar claros si nos referimos a distancias y áreas en el **terreno** o en el **mapa**. Por ejemplo: “metros en el terreno” vs. “metros en el mapa”. Podemos abreviar esto en **_t** y **_m** respectivamente. Por ejemplo, metros en el terreno puede ser abreviado **m_t**.

Algunas **medidas pueden ser asumidas para referirnos al terreno**, al menos especificarlas: hectáreas (ha), kilómetros (km) y kilómetros cuadrados (km^2), de esa forma no es necesario escribir “ha en el terreno”, simplemente “ha”, lo mismo para los “km”. (sin embargo es posible medir algo en el mapa en hectáreas!).

Similarmente, algunas **medidas pueden ser asumidas para referirse al mapa**, al menos que se especifiquen: milímetros (mm) y milímetros cuadrados (mm^2), lo mismo para cm y cm^2 . de esa forma podemos escribir “ mm^2 ” y no “mm en el mapa” (sin embargo, por supuesto que podemos medir distancias en el terreno también en mm).

Idea básica: armonice o relacione el tamaño de la delineación (polígono) en el mapa con el área (polígono) de manejo en el terreno (realidad). Los conceptos de escala serán cubiertos por Forbes *et al* [31], Dent & Young [24] y en textos estándar de cartografía [45].

3.1.2 Escala de mapa linear

La **escala de un mapa** es la relación entre la distancia en el mapa y la distancia en terreno, ambas son medidas **lineares** y se miden en las mismas unidades; es **adimensional** y siempre escrita como una relación con una unidad de numerador.

Relación escala: distancia en el mapa / distancia en el terreno; en las mismas unidades, **adimensional**. A continuación la forma en que usualmente se presenta la escala en el mapa.

Ejemplo: 1:25000 → 1 cm en el mapa = 25000 cm = 250 m en el terreno

La escala de un mapa puede ser también expresada como escala número (scale number) o como fracción representativa (representative fraction). Ambas pueden ser utilizadas para convertir distancias entre el mapa y el terreno.

Fracción representativa: (abreviación FR). La relación escala como fracción, usualmente se escribe en lenguaje científico. Por ejemplo: para una escala 1:25000 esto es $0.00004 = 0.4 * 10^{-4}$.

Matemáticamente es adimensional, pero es conveniente usar alguna dimensión, por ejemplo, $0.4 * 10^{-4}$ m_m. Note que aquí la dimensión del mapa es el numerador; esto es porque la RF tiene un exponente negativo de 10.

Número de escala (abreviación NS): denominador de la relación escala y debido a que el numerador es siempre 1, también es matemáticamente inverso. Por ejemplo: para una escala 1:25000 $SN = 25000 = 2.5 * 10^4$. El NS es conveniente en trabajos con números mayores a 1 en lugar de pequeñas FR. Matemáticamente es adimensional, pero es aconsejable usar alguna dimensión, por ejemplo: para una escala 1:25000 el $NS = 2.5 * 10^4$ m_t. Note que acá la **dimensión del terreno es el numerador**, de ahí que existe un exponente positivo de 10.

Nota: Esta definición de FR sigue [2] en lugar de [31], quien llama a lo que llamamos NS como FR.

Escala grande vs. pequeña

Escala grande: un área de terreno dada es representada por un mapa **grande** (piense en una pared cubierta con un gran mapa de papel).

Escala pequeña: un área de terreno dada es representada por un mapa **pequeño** (piense en un mapa de bolsillo).

Estos términos son completamente relativos al área que esta siendo mostrada. Un mapa de “escala pequeña” puede ser definido como un mapa que muestra el área de interés en una sola hoja que puede ser comprendida en una sola o pocas miradas, de forma práctica una hoja de papel no mayor a 60*60 cm. Lo contrario a un mapa de

“escala grande” que muestra el área de interés en una o más hojas (forma de atlas) y que no puede ser entendido con una sola mirada.

Sin embargo algunos autores utilizan la definición de escala absoluta de “grande” y “pequeña”, dependiendo en el tema del mapa y su propósito. Por ejemplo [2] clasifica los mapas de suelos como sigue:

Escala grande:	1:2500 – 1:25000
Escala media:	1:50000 – 1:150000
Escala pequeña:	1:250000 – 1:1000000

Otra forma de que estos términos son utilizados, es relativo a la intención del uso del mapa:

Escala grande:	Muestra todos los objetos de interés a detalles y con alta legibilidad.
Escala media:	Muestra muchos objetos de interés a detalles, existe alguna generalización. El mapa es directamente útil pero es entendido que algunos objetos muy finos no son mostrados.
Escala pequeña:	Casi todos los objetos de interés están generalizados, el mapa da una idea general simplemente y no es directamente útil.

Al contrario de debatir acerca de la definición de escala “grande” y “pequeña”, prefiero dejar los términos indefinidos y más bien aclarar que para cualquier área de tierra, un mapa de escala grande requiere más papel que un mapa de escala pequeña y que cualquier mapa llamado de escala grande mostrara todos los objetos de interés.

3.1.3 *Máxima exactitud para ubicación (Maximum location accuracy) de puntos mapeados*

Antes de hablar de las delineaciones, debemos hablar acerca de los puntos.

Ploteo manual de un **punto bien definido** en un mapa: 0.25mm (1/4mm) es la exactitud máxima en el mapa de papel [21]; esta representa una **exactitud (accuracy) de mapa estándar**. Sobre todo el mapa, 90% de los puntos bien definidos deben estar correctamente ubicados a esta precisión. Estas especificaciones se refieren a que los puntos deben estar *ubicados (located)* y luego *ploteados (plotted)*: cualquiera de los procedimientos puede llevar a errores.

Con la cartografía automatizada (SIG) el punto puede ser ploteado más exactamente, pero aun existe errores como la contracción y expansión del papel, incertidumbre en el posicionamiento mecánico del ploteador y la ubicación del punto en el campo, por tanto el MLA (maximum location accuracy) no será mejor, talvez 0.1 mm.

Lo ideal: precisión GPS (aprox. 1 cm de precisión en el campo, lo cual es una precisión perfecta a la escala de mapa), almacenada en un SIG con la misma precisión. Pero en un pedazo de papel existirá aun error de ploteo; estimo que aun es 0.1mm.

(Note que el MLA es solamente un concepto cartográfico; tenemos que encontrar nosotros mismos en el campo los puntos mapeados usando como fuente el mapa, este es un problema diferente).

Calculando la (MLA) máxima exactitud para ubicación [31]

Multiplicar el NS por 0.25mm (0.1mm para productos SIG) y así convertir a metros en terreno.

Ejemplo: $1:20000: 20000 \text{ mm}_t \text{ mm}_m^{-1} * 0.25 \text{ mm}_m = 5000 \text{ mm}_t = 5 \text{ m}_t$ (2 m_t para un mapa producido en un SIG en papel estable con un plotter de alta precisión.).

Interpretación: es imposible plotear un punto cercano a 5 m en un mapa de escala 1:20000. Así mismo, cualquier línea no puede tener un ancho menor a 5 m, ya que cualquier punto en la línea no pudo ser ubicado más precisamente.

3.1.4 La oferta: la delineación

Pregunta básica: **¿cuál es el tamaño de las áreas mostradas en el mapa?** Estas son medidas en unidades de área, por ejemplo: cm²_m.

Delineación Mínima Legible (Minimum Legible Delineation MLD)

Esta representa el área más pequeña (cm²_m) **en el mapa** que puede ser legiblemente delineada. Es un concepto cartográfico un tanto arbitrario.

De acuerdo al grupo de Adecuación del inventario del recurso suelo de la Universidad de Cornell [31], la MLD es definida como = **0.4 cm²_m** = 40mm²_m. Esta definición está basada en la observación de muchos levantamientos de suelos publicados, donde raramente una delineación es menor a 0.4 cm². Actualmente algunas delineaciones menores son marginalmente legibles y por ello para algunos autores como Vink [55] utiliza un área menor MLD = **0.25 cm²_m** = 25 mm²_m; esto también es seguido en programas de levantamiento de suelos de algunos países como Holanda [37].

Estas MLD's pueden ser expresadas como **círculos de radio** ~3.6 mm (Vink: ~2.8mm); o **cuadrados con lado** = 6.325 mm (Vink:=5mm).

Vink añade una **restricción al ancho de delineación: la dimensión más pequeña ("ancho") de una delineación elongada** (por ejemplo: una unidad de mapeo que sigue un río) **debe ser al menos 2 mm**; otros autores como [37] establece 2 mm como el ancho mínimo absoluto pero recomienda 3 mm como ancho mínimo. Por tanto, de acuerdo a Vink, la delineación más angosta debe tener dimensiones de al menos 2mm*12.5mm para obtener su MLD de 25 mm; utilizando el valor conservativo de MLD = 0.4 cm² y 3 mm de ancho la delineación más estrecha debe tener las dimensiones de por lo menos 3mm*13.3mm. Note que un lápiz N°00 dibuja líneas de 0.3mm; así, ese tipo de línea cubre el 10% del mínimo ancho de delineación.

En delineaciones más pequeñas, **el ancho de la línea actual sobre el mapa impreso ocupa un parte significativa de la delineación**, es decir con un lápiz N°00 (ancho de línea 0.3mm) delinear un círculo de 0.4 cm² ocupa 8.2% del área del círculo (asumiendo que la mitad de la línea 0.15mm cae dentro el círculo); para delinear un círculo de 0.25 cm², este ocupa 10.3% del área. El área actualmente cubierta por la línea representa un área "arbitrariamente clasificada, por tanto debe ser minimizada.

De la misma forma, en delineaciones menores no existe espacio para símbolos.

La exactitud en la ubicación de delineaciones pequeñas es una fracción significativa del ancho de la delineación, por ejemplo: un cuadrado de 0.4 cm², cada lado $\sqrt{0.4 \text{ cm}^2} \sim 0.63 \text{ cm} = 6.3 \text{ mm}$; la MLA (minimum legible área = área mínima legible) de un punto sobre el límite es 0.25mm, es decir 4% y este representa el mejor caso. Esto implica que la exactitud en la delineación de un límite de pequeñas delineaciones es inherentemente inexacto, sin importar cuan bien el límite fue ubicado en el campo.

Area Mínima Legible (Minimum Legible Area MLA)

El MLA esta definida como, el área de terreno mínimo que puede ser legible en el mapa, definido como la MLD convertida a la escala de terreno; note que el cuadrado del NS debe ser utilizado, para convertir el NS en área:

Por ejemplo: para una escala de 1:20000, $0.4 \text{ cm}^2_{\text{m}} * (20000 \text{ cm}_{\text{t}} \text{ cm}_{\text{m}}^{-1})^2 = 0.4 * (4 * 10^8) \text{ cm}^2_{\text{t}} = 1.6 * 10^8 \text{ cm}^2_{\text{t}}$ área de terreno; convertir a m²_t multiplicando por $(10^{-2})^2 \text{ m}^2 \text{ cm}^{-2}$, $= 1.6 * 10^4 \text{ m}^2_{\text{t}}$; $* 10^{-4} \text{ m}^2_{\text{t}} \text{ ha}^{-1}$, = 1.6 ha.

La fórmula para definición de Cornell: $\text{MLA, ha} = (\text{NS})^2 * (4 * 10^{-9})$. Es más simple calcular en su cabeza dejando a un lado el 1000 de la escala numérica (enés de usar 20000 use 20), llame a esto NST, entonces la formula es simplemente $(\text{NST})^2 * (4 * 10^{-3}) = (\text{NST})^2 / 250$.

Fórmula simple (Cornell): $\text{MLA, ha} = (\text{Número de escala} / 1000)^2 / 250$

Ejemplo: $(20000)^2 * (4 * 10^{-9}) = (2 * 10^4)^2 * (4 * 10^{-9}) = 4 * 10^8 * 4 * 10^{-9} = 16 * 10^{-1} = 1.6 \text{ ha}$

O dejando los 000: $(20)^2 / 250 = 400 / 250 = 40 / 25 = 8 / 5 = 1.6 \text{ ha}$

Algunas otras MLAs: 1:50000 \Rightarrow 10ha; 1:24000 \Rightarrow 2.304 ha = 2 1/4 ha

Para la definición de Vink, todas las áreas son reducidas a una proporción $25/40 = 5/8 = 1/1.6 = 0.625$. Por ejemplo para un mapa de escala 1:20000, la MLA de 1.6 ha llega a ser $1.6 / 1.6 = 1 \text{ ha}$. Esto también puede ser calculado directamente:

Fórmula simple (Vink): $\text{MLA, ha} = (\text{Número de escala} / 1000)^2 / 400$

Ejemplo: $(20)^2 / 400 = 400 / 400 = 1 \text{ ha}$

Existen dos relaciones muy útiles para aumentar o disminuir la escala, ambas son derivadas fácilmente del hecho que **el área varia como el cuadrado de la escala linear**.

- (1) **Dividiendo la escala** cuádrupla la MLA; esto es **doblar el NS**;
Doblando la escala divide el MLA entre 4; esto es **dividiendo el NS**;

Ejemplos:

$$1:100000 = \frac{1}{2} * 1:50000 \Rightarrow 4 * 10 \text{ ha} = 40 \text{ ha};$$
$$1:25000 = 2 * 1:50000 \Rightarrow \frac{1}{4} * 10 \text{ ha} = 2.5 \text{ ha}$$

- (2) **Dividiendo la escala entre 10** multiplique el MLA por 100; esto es **multiplicando el NS por 10**;
Multiplicando la escala por 10 divide el MLA entre 100; esto es **dividiendo el NS entre 10**

Ejemplos:

$$1:500000 = \frac{1}{10} * 1:50000 \Rightarrow 100 * 10 \text{ ha} = 1000 \text{ ha};$$
$$1:5000 = 10 * 1:50000 \Rightarrow \frac{1}{100} * 10 \text{ ha} = 0.1 \text{ ha} = 1000 \text{ m}^2$$

$$1:200000 = \frac{1}{10} * 1:20000 \Rightarrow 100 * 1.6 \text{ ha} = 160 \text{ ha};$$
$$1:2000 = 10 * 1:20000 \Rightarrow \frac{1}{100} * 1.6 \text{ ha} = 0.016 \text{ ha} = 160 \text{ m}^2$$

Determinando la escala para un MLA dado

Muchas veces queremos determinar **¿cuál es la escala mínima para un MLA dada?**

Fórmula para la definición de MLA según Cornell:

$$NS = [\sqrt{(\text{MLA}, \text{ha} * 250)}] * 1000 \text{ esta trabaja porque } 4 * 10^{-3} = 250$$

Ejemplo: MLA=160ha: $\sqrt{(160 * 250)} = \sqrt{(40000)} = 200$; $200 * 1000 = 200000$, la respuesta es 1:200000

Para la definición de Vink, todas la escalas calculadas de esta forma son reducidas por la proporción $\sqrt{(40/25)} = \sqrt{1.6} = 1.2649$. Así, un mapa de escala menor mostrara la misma MLA según la definición de Vink. La forma más fácil de calcular es multiplicando el NS calculado por la definición de Cornell de MLD por $\sqrt{1.6}$. Por ejemplo a MLA de 160 ha, la escala mínima se convierte en 1: $(200000 * \sqrt{1.6}) = 1:252982$. Note que este es un valor parecido a 1:250000.

O, la fórmula directa según la definición de Vink es: $NS = [\sqrt{(\text{MLA}, \text{ha} * 400)}] * 1000$

Delineación óptima legible (Optimum Legible Delineation OLD)

Corresponde al tamaño de delineación óptima en un mapa legible. Es arbitrariamente definido como $4 * \text{MLD} = 1.6 \text{ cm}^2$ (Cornell) o 1.0 cm^2 (Vink). Esta es una **definición arbitraria** (excepto que debe ser $\geq \text{MLD}$) basada en **consideraciones cartográficas**.

Algunas veces la OLD es considerada a ser $2.5 * \text{MLD} = 1 \text{ cm}^2$ (Cornell) o 0.625 cm^2 (Vink), así que 1 cm^2 OLD es un compromiso que puede recaer en la definición de MLD.

Área óptima legible (Optimum Legible Área OLA)

OLA es la OLD convertida a escala de terreno, exactamente como el MLD es convertido en MLD. Así que $4 * \text{MLA}$ por cualquier definición de MLA.

Delineación de tamaño promedio (Average-size delineation ASD)

La ASD es la media aritmética del tamaño de delineación expresado en área de mapa (mm o cm²_m), Este caracteriza cuan detallado es un mapa. Forbes *et al* [31] brindan un método para estimar la ASD utilizando círculos de muestreo. Un SIG puede fácilmente producir un histograma de los tamaños de delineación y calcular el promedio o cualquier otra medida estadística.

Si el mapa tiene diferentes texturas (áreas con diferentes distribuciones de frecuencia o tamaño y forma de delineación), calcula la ASD para áreas de diferente detalle separadamente; cada uno de estos estratos del mapa es evaluado separadamente.

Cualquier estadística del conjunto de tamaños de delineación puede ser utilizado en lugar de la ASD (la mediana o el cuartil 5). El coeficiente de varianza o radio intercuartil puede ser utilizado como una medida de dispersión.

Área de tamaño promedio (Average-size area ASA)

La ASD convertida en área de terreno.

Índice de Máxima Reducción (Index of Maximum Reduction IMR)

El IMR es el factor por el cual **la escala del mapa puede ser reducida antes de que la ASD sea igual al MLD**, es decir el ASA = MLA. El IMR estima si el mapa es cartográficamente “muy fino”, “muy grueso” o “correcto”.

El IMR puede ser directamente calculado como la raíz cuadrada del radio ASA a MLA (raíz cuadrada porque el radio área debe ser convertido a un radio lineal de escala de mapa), o la raíz cuadrada del radio ASD a MLD. La definición de MLD de Cornell o Vink puede ser utilizada.

Fórmula: $IMR = \sqrt{(ASD/MLD)} = \sqrt{(ASA/MLA)}$

En el caso que conozcamos la ASD, podemos usar la fórmula que ya toma en cuenta la MLD:

Fórmula: (asumiendo Cornell MLD, 0.4 cm²): $\sqrt{(2.5*ASD)}$, donde el ASD es medido en cm².

Derivación: La $\sqrt{\quad}$ es para convertir de una medida de área a una medida lineal. El factor 2.5 es el inverso de 0.4, por tanto si el ASD es 0.4 cm², el IMR = 1.

Ejemplo: Suponga que medimos un ASA de 160 ha en un mapa de escala 1:50000 (MLA = 10ha). ¿Cual es el IMR usando Cornell MLD?

Método 1: Cálculo directo con medida lineal: 160 ha es la MLA de un mapa a escala 1:200000 (anteriormente).

Así el mapa de 1:50000 puede ser reducido por un factor de 4 (en cada dimensión lineal, 200000/50000=4) y es todavía legible porque en ese caso ASA = MLA = 160ha.

Método 2: Cálculo directo de áreas: La proporción de área (ASA / MLA) es 160 ha/10 ha = 16, entonces la proporción lineal es la raíz cuadrada de este $\sqrt{16}=4$.

Método 3: Usando la fórmula: Primero necesitamos conocer la ASD; esto es el ASA en cm^2 dividido entre el cuadrado de la escala del mapa. En este caso $160 \text{ ha} = 1600000 \text{ m}^2 / (50000)^2 = 0.00064 \text{ m}^2 = 6.4 \text{ cm}^2$. Entonces aplicamos la fórmula: $\sqrt{(2.5 \cdot \text{ASD})} = \sqrt{(2.5 \cdot 6.4)} = \sqrt{16} = 4$

Una **definición arbitraria del IMR óptimo es 2.0**. En este caso la $\text{ASD} = \text{OLD}$ porque nosotros establecimos arbitrariamente el $\text{OLA} = \text{MLA} \cdot 4$ y $\sqrt{4} = 2$. Por tanto en este ejemplo, $\text{IMR} = 4 > 2$, de hecho, la escala pudo ser reducida por un factor de $4 / 2 = 2$.

Un **$\text{IMR} > 2$** significa que **la escala del mapa pudo ser reducida** (hoja de papel más pequeña) sin perder la legibilidad o exactitud; la escala de publicación del mapa es muy grande.

Un **$\text{IMR} < 2$** significa que el mapa tiene muchas delineaciones para su escala; la escala debe ser incrementada hasta un $\text{IMR} = 2$, de esa forma el mapa puede ser más fácilmente legible.

Un **$\text{IMR} < 1$** significa que la escala del mapa es muy pequeña haciendo que la $\text{ASD} < \text{MLD}$, no solo que $\text{ASD} < \text{OLD}$ (como es el caso si $< \text{IMR} < 2$). El polígono promedio es ilegible.

Para la MLD de 0.25 cm^2 según Vink, el IMR calculado anteriormente es multiplicado por $\sqrt{(8/5)}$, es decir mayor reducción es necesaria para alcanzar una escala óptima. El cálculo directo es similar pero usando el MLA de Vink (0.25 cm^2 convertido a escala de mapa en lugar de 0.4 cm^2). El $2.5 (= 1/0.4)$ en la fórmula se convierte en $(1/0.25) = 4$.

Fórmula (asumiendo 0.25 cm^2 MLD): $\text{IMR} = \sqrt{(4 \cdot \text{ASD})}$, donde la ASD es medida en cm^2 .

Derivación: La $\sqrt{\quad}$ es para convertir la medida de área en medida lineal. El factor 4 es la inversa de 0.25 , si el ASD es 0.25 cm^2 , el $\text{IMR} = 1$.

Ejemplo (igual que la definición de Cornell): $\text{ASD} = 6.4 \text{ cm}^2$, aplicando la fórmula nos da $\text{IMR} = 5.0596 \sim 5$. Note que el radio de IMR calculado de acuerdo a las dos definiciones es $1.2649 = \sqrt{(8/5)}$. Este concuerda con el cálculo directo. Usando la definición Vink de MLD siempre resultara en un IMR mayor, es decir el mapa puede ser reducido mas que usando la definición Cornell.

3.1.5 La demanda: el área de decisión

Pregunta básica: **¿cuál es el tamaño de las áreas a ser manejadas?**. Estas son medidas en área de terreno (ha).

Área Mínima de Decisión (MDA)

El área más pequeña (km^2 , ha, m^2) **en el terreno** que el usuario de la tierra puede utilizar de diferente manera; limitada por el "tamaño" es el MDA .

Ejemplo: en un jardín, las plantas pueden ser ubicadas con la mano donde el usuario desee.

Ejemplo: con equipo mecanizado, es imposible explotar campos bajo un cierto tamaño específico (en USA aproximadamente 16 ha).

Pero a veces, el usuario de la tierra típicamente desea tratar áreas más grandes como su unidad de uso, de ahí el concepto de.....

Área Óptima de Decisión (ODA)

El área que el usuario desea utilizar de diferente manera, por ejemplo tamaño típico de campo, tamaño típico para el desarrollo residencial.....Esto corresponde al **área mínima para la planificación** establecida por Vink [54].

Ejemplo: medio-oeste de USA: 160 acres (aprox. 64 ha). Resulta anti-económico tratar áreas separadamente debido al gran tamaño de la maquinaria necesaria y el tiempo que se utiliza en cada unidad o parcela.

Muchas veces el ODA llega a ser cerca de 4 veces el MDA! Aunque esto depende del tomador de decisiones, esto parece ser una regla Psicológica. Note que esto corresponde al lado de la “oferta” esto significa $OLD = 4 * MLD$.

3.1.6 El mapa ideal tipo “área-clase-polígono”

Con las definiciones anteriores, podemos definir **el mapa de polígonos cartográficamente óptimo**:

Criterio 1: La escala del mapa se relaciona a la escala de uso: $MDA = MLD$; $ODA = OLD$

Criterio 2: El mapa tiene una escala grande suficiente para ser legible, pero no más grande: $IMR = 2$.

El criterio 1 implica que lo más grande no siempre es lo óptimo! Si la escala del mapa es muy grande comparando con el ODA del usuario (el $IMR > 2$), el usuario no será capaz de ver las áreas de manejo; el detalle del mapa confundirá al contrario de ayudar en la toma de decisiones.

3.1.7 La naturaleza de la escala

Los conceptos puramente cartográficos vistos anteriormente, deber ser reconsiderados con el patrón actual del suelo.

“Es la naturaleza la que controla la variabilidad espacial del recurso suelo, no los Pedólogos / Edafólogos” [17].

“La complejidad del patrón del suelo determina la cantidad de detalle que puede ser ilustrada a una escala particular” [26].

¡De ahí que podemos establecer una escala, pero el patrón del suelo puede que la respete! (puede ser muy gruesa o muy fina). En este caso debemos ajustar las **definiciones de unidad de mapeo** o la **escala de mapeo**. Es decir, la MLD es establecida por la escala del mapa y el nivel de generalización categórica es determinado por el patrón del suelo dentro de la MLD.

Discutiremos este aspecto más adelante en el tema “Especificación del Levantamiento de Suelos”.

3.1.8 Escala, orden y tamaño de la delineación

El levantamiento de suelos y de otros recursos naturales varían en la escala de publicación de los mapas, la intensidad de observaciones y por supuesto las técnicas. Estas tienden a co-variar.

Las preguntas básicas son:

- (1) ¿Cuál es una escala típica de mapeo (implica la delineación óptima legible correspondiente a 1 cm² o 1.6 cm² en el mapa)?
- (2) ¿Cuál es la intensidad del levantamiento (densidad de observaciones) y cual es el método a utilizar para ubicar las observaciones?

Note que, más allá de la escala del mapa, un requerimiento común del levantamiento de suelos [57] es que debe haber en promedio de ¼ a 1 observación en campo por cm² en el mapa (cada observación representa de 1 cm² a 4 cm²).

Sin embargo, en algunas organizaciones por ejemplo en Holanda se utiliza una densidad más alta (4 observaciones por cm²), cada observación representa ¼ cm² [37]. Esto sugiere que estas organizaciones están publicando sus mapas a una escala muy pequeña. Comparando con la definición de Western acerca del número máximo de observaciones por cm² (vemos que los mapas holandeses tiene 4x para el numero de observaciones por cm², de aquí que la escala 2x es muy pequeña.). Llegamos a la misma conclusión considerando el IMR de la mayoría de mapas Holandeses.

Si se toma una OLD de 1 cm² (Vink), esto significa 1 observación por 1 a 4 OLD's; tomando la OLD como 1.6 cm² (Cornell), esto es **1 observación por 0.625 a 2.5 OLD's**. Tomando la OLD = 4xMLD, significa 1 observación por 4 a 16 MLD's (Vink) o **1 observación por 2.5 a 10 MLD's** (Cornell).

- (3) ¿Cuál es el rango de las propiedades (o grado de homogeneidad) de las unidades de mapeo?
- (4) ¿Cuáles son los nombres de las unidades de mapeo?
- (5) ¿Cuál es el propósito del levantamiento? es decir ¿Qué interpretaciones se podran hacer de el?

Podemos relacionar estas preguntas directamente al *nivel de intensidad levantamiento u orden de levantamiento*, que a continuación discutimos.

3.1.9 Nivel de intensidad del levantamiento u orden de levantamiento

El manual de levantamiento de suelos de USDA [48] habla de cinco *órdenes* en el levantamiento de suelos (¡término muy confuso! Porque existe el *orden* como el nivel más alto en la clasificación taxonómica de suelos); talvez es mejor llamarlos niveles de intensidad (como en Canadá). La siguiente table fue tomada de Avery [2], pero utilizando la definición de Cornell de MLD = 0.4 cm² en lugar de Vink MLD = 0.25 cm²

como fue utilizado originalmente por Avery. Esta claro que existe una relación íntima entre nivel de intensidad y los conceptos recientemente discutidos de escala y de ahí MLD y su correspondiente MLA. De hecho, la densidad de inspección (observación) es siempre congruente con el MLA.

NIVEL DE INTENSIDAD	“ORDEN” NRCS	DENSIDAD DE INSPECCION	ESCALA DE PUBLICACION	TAMAÑO MINIMO DE DELINEACIÓN =MLA (0.4cm ²)	TIPO DE UNIDAD DE MAPEO	OBJETIVOS
Muy alto (1) “intensivo”	1°	>4 por ha, (>1 por 2500 m ²)	1:2500	0.025 ha =2500 m ²	Simple, detallada	Evaluación de tierras para planificación a nivel sitio, trabajos de ingeniería
Alto (2) “Intensivo”	1°	1 por 0.8 a 4 ha (25 a 125 por km ²)	1:10000	0.4ha = 4000 m ²	Simple, menos detalle	Evaluación de tierras para usos intensivos al nivel de parcela; lev. a detalle, trabajos de Ingeniería.
Moderadamente Alto (3) “detallado”	2°	1 por 5 a 25 ha (4 a 20 por km ²)	1:25000	2.5 ha = 25000m ²	Principalmente simple, algún compuesto, mod.detalle	Evaluación de tierras para usos mod. Intensivos a nivel de parcela; Planificación de proyectos a detalle.
Medio (4) “semi-detallado”	3°	1 a 5 por km ² (1 por 20 a 100 ha)	1:50000	10 ha	Principalmente compuesto, algún simple, detalle mod.	Evaluación de tierras para usos mod. Intensivos al nivel de finca; proyectos de planificación semi-detalle, PLUS municipal
Bajo (5) “semi-detalle”	4°	¼ a 1 por km ² (1 por 100 a 400 ha)	1:100000	40 ha	Casi siempre compuesto o simple general	Evaluación de tierras para usos extensivos; factibilidad de proyectos; PLUS departamentales.
Muy bajo (6) “reconocimiento”	5°	< 1 por km ² (< 1 por 100 ha)	1:250000	250 ha = 2.5 km ²	Compuesto o simple dominante	Inventarios nacionales; PLUS departamental
Exploratorio		Ninguna u oportunista	1:1000000 1:5000000	40 km ² 1000 km ²	Categorícamente general	Idea general del tipo de suelos que existen en un área desconocida.

¡Note que la mayor “intensidad” no es siempre lo mejor! Esta depende del uso de la tierra. Por ejemplo, para que un planificador a nivel nacional, tenga idea de la capacidad de producción del país en cultivos de primera necesidad, un levantamiento a detalle resultaría inútil.

3.1.9.1 *Intensidad de observaciones: un ejemplo comparando el levantamiento Holandés y Alemán*

Existe variación a cualquier intensidad. El siguiente ejemplo es una interesante comparación que viene de [50] métodos de levantamiento de Holanda y Alemania.

Ambos países publican sus mapas de suelos principalmente a escala 1:50000 (la cual se clasifica a nivel de intensidad 4 en la tabla); sin embargo los Holandeses realizan 12 a 20 observaciones cada 100 ha = 1 km² (entre el nivel 3 y nivel 4), mientras que los Alemanes realizan solo 7 a 10 (en la parte baja del nivel 4).

En un área de 4000 ha donde dos mapas independientes fueron compilados:

- Los Holandeses identificaron 197 delineaciones (ASA = 20.3ha ~ **20 ha**), mientras que
- Los Alemanes identificaron 134 (ASA = 29.8 ha ~ **30ha**)

Es decir, el Mapa Alemán es 50% menos detallado.

A una escala de 1:50000 la OLD de 1.6 cm² de un mapa impreso = OLA de 40 ha (4*MLA de 10ha a 1:50000).

Podemos calcular el IMR como la **raíz cuadrada de la relación ASA / MLA**. Por tanto el IMR Holandés = $\sqrt{(20/10)} = 1.414 \sim 1.5$, mientras que el IMR Alemán = $\sqrt{(30/10)} = 1.75$; ambos mapas se publicaron a una escala muy fina (recuerde que un IMR de 2.0 es considerado ideal, por tanto un IMR < 2 indica que el mapa es muy detallado, así en lugar de ser reducido hasta IMR = 2, debe ser expandido).

La escala correcta de publicación para el detalle de mapeo utilizado y que sea legible, debe ser:

$(2 / 1.5) = 1.333$ / la escala actual de publicación = 1:37500 para el mapa Holandés, y

$(2 / 1.75) = 1.14$ / la escala actual de publicación = 1:43750 para el mapa Alemán.

Otra forma de calcular el IMR es usando la **fórmula**: $\sqrt{(2.5*ASD)}$, donde el ASD es en cm².

El área de ejercicio de 4000 ha corresponde a 40 km² = 40 * (10⁵)² cm² = 40*10¹⁰ cm² de área de terreno.

Convirtiendo esto a cm² de mapa; usando la escala 1:50000, así dividiendo entre $(5*10^4)^2 = 25*10^8$, tenemos un área total de mapa de $(40*10^{10}) / (25*10^8) = (40/25) * 10^2 = 1.6*10^2 = 160$ cm².

De esa forma, el ASD del mapa Holandés ASD = 160/197=0.81 cm² ~ 0.8 cm²; luego, aplicando la fórmula, IMR = $\sqrt{(2.5*0.8)} = 1.414 \sim 1.5$.

Similarmente, para el mapa Alemán, ASD = 160/134 = 1.19 cm² ~ 1.2 cm²; IMR = $\sqrt{(2.5*1.2)} = 1.732 \sim 1.75$.

3.2 Detalle cartográfico vs detalle categórico

Cuando hablamos del grado de “detalle” en un mapa de suelos tipo “area-polígono” existen dos consideraciones: **cartográfico** referido al **mapa** y **categórico** referido a la **leyenda**. Ver el ejemplo en el libro de Buol [13] (pp. 347-350).

Estos son conceptos muy diversos que nos llevan a mapas diferentes (representaciones abstractas) de la misma realidad.

Detalle cartográfico (mapa): Cuantas delineaciones se muestran en el mapa para un área dada (por ejemplo, el patrón de los polígonos). Un mapa más **general** tiene pocos polígonos que son más grandes que un mapa **específico** a la misma escala. Podemos medir esto a través de ASD y IMR del mapa.

Detalle categórico (leyenda): Que nivel de detalle conceptual esta implícito por las entidades que se muestran en el mapa (por la leyenda). Una leyenda mas **general** hace pocas separaciones basada en pocas categorías y clases más generales que una leyenda **específica**.

En una leyenda que se basa en un sistema de clasificación jerárquico como la Taxonomía de suelos, una leyenda más general debe usar el nivel más alto de la taxonomía como la entidad de la leyenda. Una leyenda más específica se refiere a más categorías dentro de la leyenda, esto se relaciona a niveles jerárquicos más bajos dentro la taxonomía.

En una leyenda local, cuanto más general la categoría de la leyenda, más amplio el rango de las propiedades del suelo.

A continuación un ejemplo utilizando niveles de la taxonomía de suelo para indicar el nivel de generalización categórica: Para el condado de Edgecombe el levantamiento de suelos va de mas a menos categóricamente general:

- (1) Un mapa de **Órdenes** tiene solo 4 categorías: {Ultisols, Entisols, Inceptisols, Alfisols} (~90 % Ultisols, <1% Alfisols);
- (2) Un mapa de **Sub-órdenes** tiene 8 categorías: {Udults, Aquults, Fluvents, Aquents, Psamments, Ochrepts, Aquepts, Aqualfs};
- (3) Un mapa de **Grandes Grupos** tiene 12 categorías {Albaqualfs, Dystrochrepts, Endoaquults, Fluvaquents, Hapludults, Humaquepts, Kandiudults, Paleaquults, Quarzipsamments, Udifluvents, Udipsamments, Umbraquults};
- (4) Un mapa de **Sub-Grupos** tiene 21 categorías: {Typic Albaqualfs, Fluvaquentic Dystrochrepts,, Typic Umbraquepts}. Algunos de los Grandes Grupos importantes tienen muchos subgrupos, por ejemplo: Aquic, Arenic y Typic Hapludults.
- (5) Un mapa de **Familias** tiene 35 categorías (familias): {Fine, mixed, active, thermic Typic Albaqualfs,, Fine-loamy sobre sandy o sandy-skeletal, mixed, thermic Typic Umbraquults}. A este nivel, varios subgrupos importantes tienen diferentes

- familias. Por ejemplo: El Typic Paleaquults tiene tres familias: (1) Fine, kaolinitic; (2) Fine-silty, siliceous; y (3) Fine-loamy, siliceous (todos térmicos).
- (6) Un mapa de **Serie de Suelos** tiene 38 categorías (series): {Altavista, Autryville,.....,Wehadkee, Wickham}. En este caso, solo pocas familias tienen más de una serie. Un ejemplo para una distinción fina: Las series State & Wickham son ambas Fine-loamy, mixed, semiactive, thermic, Typic Hapludults, sólo difieren en el color de su horizonte argílico (Wickham es más rojo que State).
- (7) La leyenda actual tiene 52 unidades de mapeo, las cuales **son Fases (phases) de series de suelo** {AaA, AuB, AyA,.....Wh, WkB}. Las fases están basadas mayormente en la clase de pendiente.

En este ejemplo, el gran incremento en detalle categórico, en términos de número de categorías, viene en el mapeo de (1) *familias vs. subgrupos* (de 21 a 35, un 67% de incremento) y (2) *fases vs. series* (de 38 a 52, un 37% de incremento). Existe un incremento significativo en la *precisión interpretativa* a cada nivel.

La generalización cartográfica puede ser considerada independientemente de la generalización categórica:

- (1) **Cartográficamente detallado, categóricamente detallado:** Un patrón detallado de clases específicamente definidas (fases de series de suelos). La escala debe ser lo suficientemente grande para mostrar el patrón de los polígonos (IMR>1). **Esto es típico de un levantamiento de suelos detallado.**
- (2) **Cartográficamente detallado, categóricamente general:** Un patrón detallado de clases generalmente definidas. En la mayoría de casos, esto representa una **confusión de conceptos:** muchos límites que serán mostrados en un mapa categóricamente detallado serán eliminados (debido a que los polígonos adyacentes se encuentran al mismo nivel categórico alto); el IMR será alto mostrando que la escala del mapa es muy grande para el nivel de detalle categórico.
- (3) **Cartográficamente general, categóricamente detallado:** Un mapa con grandes y pocas unidades de mapeo de clases bien definidas. En la mayoría de suelo-paisajes esto es imposible: la pureza de las grandes unidades de mapeo será muy baja; por tanto las unidades de mapeo tendrán que ser descritas como **asociaciones de categorías detalladas;** con pocas líneas mostrando los principales elementos del paisaje. Esto puede ser útil si el patrón del paisaje dentro de la unidad cartográfica general puede ser reconocida en el terreno o en fotografías aéreas de escala grande. Este es un típico levantamiento de suelos semi-detallado o para una generalización cartográfica de un levantamiento de suelos detallado a pequeña escala.
- (4) **Cartográficamente general, categóricamente general:** Un mapa con grandes y pocas unidades de mapeo de clases generalmente definidas. **Es un típico levantamiento de suelos al nivel de reconocimiento** y puede ser útil para dar una idea general de propiedades importantes del suelo. Usualmente ignora inclusiones.

La siguiente figura puede aclarar las anteriores consideraciones:

		Nivel de detalle Cartográfico	
		General	Detallado
Nivel de Detalle Categórico	General	(4) asociaciones en WRB al 2 ^{do} nivel Grupo; 1:250000; inventario regional con bajo nivel de ubicación.	(2) consociaciones de WRB al 2 ^{do} nivel Grupo o familias; 1:25000; alto IMR.
	Detallado	(3) asociaciones de fases o series (2 ^{da} etapa). Semi-detallado SRI a 1:50000 – 1:250000.	(1) consociación de fases de series de suelo; 1:25000. SRI detallado.

Así, los modelos (1) y (4) tienden a ser lo más satisfactorio para mapas de suelos útiles; modelo (3) es útil para mapas de suelos de escala pequeña de un área que ha sido estudiada a una escala más grande y para mapas de “dos etapas”.

3.3 Reduciendo un mapa de polígonos a una menor escala

El resultado cartográfico de una reducción mecánica en el tamaño del mapa (reducción de la escala) hace a cada delineación más pequeña en concordancia al cuadrado de la proporción de la escala. El Área Mínima Legible se incrementa correspondientemente (proporcionalmente a la reducción en área de escala). Por conveniencia, definimos el **radio de reducción** (RR) como la relación de dos números de escala lineares:

$$\text{Radio de Reducción} = N_{\text{nuevo}} / N_{\text{original}}$$

Por ejemplo, si el mapa es originalmente compilado a escala 1:50000 y después reducido a 1:100000, la escala linear es reducida 2x y $RR = 100000 / 50000 = 2$. Por tanto, el área de escala es reducido por $2^2 = 4x$. El MLA se incrementa de 10 a 40 ha.

El Índice de Máxima Reducción (IMR) es necesariamente reducido proporcionalmente al RR, debido a que el IMR es también la proporción de medidas lineares (no área).

En este ejemplo, suponga que el IMR a escala 1:50000 fue 2.5; a 1:100000 es $2.5/RR = 2.5/2 = 1.25$.

Esto presenta dos problemas cartográficos:

1. **Algunas delineaciones se vuelven ilegibles**, por ejemplo aquellas donde el MLA de un mapa de escala grande es ilegible sobre el mapa de escala pequeña. En el ejemplo anterior, cualquier delineación entre 10 y 40 ha (legible a 1:50000) es ahora ilegible a una escala reducida (1:100000).
2. **EL IMR es más pequeño** y muchos indican ilegibilidad general del mapa, incluso si delineaciones individuales son lo suficientemente

grandes. Recuerde que $IMR = 2$ es considerada óptima; así a menos que el IMR original fue $\geq 2x(RR)$, el IMR no será <2 después de la reducción.

En el caso de los mapas de suelos, no existe una **solución cartográfica pura**. Debemos, por supuesto, mecánicamente desechar polígonos ilegibles y asignar su área a polígonos adyacentes. En el caso de “islas”, deben ser absorbidas por los polígonos vecinos. Pero ¿Que pasa si un polígono pequeño se encuentra la medio de varios polígonos grandes? O si un grupo de pequeños polígonos que juntos serán $>MLD$ en la nueva escala? El patrón del paisaje en la nueva escala (más pequeña) debe ser analizado.

Incluso en el caso de “islas”, el polígono grande remanente tiene diferente composición (diferente proporción de suelos). El mapa con unidades de mapeo remanente debe ser re-examinado, re-descrito y posiblemente re-nombrado basándose en su nueva composición. En el siguiente capítulo se verán las reglas para nombrar las unidades de mapeo. Una situación común será las varias conosociaciones ahora descritas como asociaciones, con patrones de paisaje conocidos de sus componentes.

Note que el SIG puede realizar una generalización mecánica (eliminando polígonos que son muy pequeños y uniéndolos con su vecino más grande). Pero esto es puramente cartográfico y debemos considerar las implicaciones categóricas.

Por ejemplo, piense en una planicie glacial con dos componentes: suelos francos, profundos, bien drenados, presencia de grava en la parte alta y suelos ricos en materia orgánica, pobremente drenados de textura fina en las depresiones (fotoles). Ellos pueden ser fácilmente delineados en la fotografía aérea. Suponiendo que los fotoles ocupan aproximadamente 1 ha cada uno, estos pueden ser delineados legiblemente a escala 1:16000 o mayor, por ejemplo 1:12500 ($MLA = 0.625$ ha). Tenemos un mapa que parece un queso Suizo, donde los fotoles son claramente mostrados. Suponga que los fotoles ocupan 20% del área total y el 80% los suelos francos (grava).

Ahora, suponga si reducimos la escala de 1:12500 a 1:25000 ($RR=2$). El MLA es $0.625 \times 4 = 2.5$ ha, más grande que los fotoles. Ellos llegan a ser ilegibles y deben ser eliminados. Su área es ahora incluida en los polígonos vecinos. Si los omitimos del mapa de repente no tenemos más el queso Suizo, tenemos una gran unidad de mapeo que consiste de 80% de suelos francos con grava y 20% de fotoles. ¡Por ello que **debemos** cambiar la leyenda! Como los fotoles son suelos de mucho contraste y limitados en su presencia, aunque solo representen 20%, deben ser incluidos en el nombre de la unidad de mapeo; como estos dos componentes del paisaje pueden ser obviamente mapeados separadamente a escalas grandes (ej. como la escala original), la nueva unidad de mapeo es una asociación. El mapa de escala más pequeña es aún categóricamente detallado pero cartográficamente general.

3.4 Agrandando un mapa polígono a mayor escala

Aquí consideramos el caso donde un mapa es impreso a una escala más grande que su original. Como nunca podemos adicionar información, el mapa de escala mayor es engañoso porque la MLD a esta escala grande fueron de hecho no mapeadas. No podemos asumir que no existen áreas más grandes que el MLA de suelos contrastantes. Así mismo las líneas límite lucen lisas, pueden ser más detallados a una

escala grande pero no fueron mapeados. Es muy extraño justificar imprimir un mapa a una escala más grande que su fuente original.

A una escala más grande, las entidades línea y punto que representan cuerpos suelo deben ser presentados como polígonos, asumiendo que el ancho de línea o el radio del punto fue controlado por la escala del mapa original.

4 Unidades de mapeo en mapas tipo clase área

La leyenda del mapa es la lista de categorías o “unidades de mapeo” que se muestran en un mapa tipo clase-área o clase-punto. En otras palabras, es el contenido de información del mapa: ¿que representan esos polígonos o esos puntos?.

En esta sección primero discutiremos el concepto de “homogeneidad” de las unidades de mapeo, después los tipos de nombre que pueden ser dados a las unidades de mapeo y finalmente una clave de campo.

Conceptos clave:

- ❑ Unidad de mapeo, delineación
- ❑ Unidades de mapeo homogéneas vs. compuestas
- ❑ Inclusiones & componentes: similar vs. disimilar; limitante vs. no limitante
- ❑ Consociación, asociación, complejo (grupo indiferenciado, suelos no asociados)
- ❑ Nomenclatura de unidades de mapeo: local, características de la tierra, cualidades de la tierra, de un sistema de clasificación, series.
- ❑ Taxonomía de suelos como leyenda de mapeo: pros y contras
- ❑ Las series de suelo; series naturales vs. taxonómicas; (la taxa adicional a las series de suelo).
- ❑ Fases: propiedades de la capa superficial; propiedades internas del suelo; propiedades del sitio.

4.1 Unidades de mapeo clasificadas por su pureza categórica & patrón del suelo

Una unidad de mapeo de un mapa tipo “área-clase” es un juego de delineaciones, todas supuestamente compuestas por las mismas propiedades exceptuando su posición geográfica. Requerimos ser capaces de nombrar las unidades de manera consistente, de forma que los usuarios puedan entender dicha nomenclatura.

Una unidad de mapeo ↔ muchas delineaciones

Nota: en teoría es posible hacer un mapa tipo clase-área con cada delineación caracterizada separadamente. Esto ignora la teoría de la génesis de suelos (factores formadores del suelo similares, producen suelos similares). Esto es cierto tanto para suelos individuos y patrones de suelos asociados. Muy rara vez una delineación en un levantamiento tendrá un tipo único de suelos o patrón de suelos.

Ahora, debido al muestreo limitado inherente en la mayoría de ejercicios de mapeo de suelos es posible y probable que muestreos en transectos o en grilla en dos delineaciones de la misma unidad de paisaje resulten en proporciones diferentes de constituyentes e inclusiones. Pero, si esto es dentro el error de muestreo y en la ausencia de información confirmada, es mejor mantener la unidad de mapeo junta y no separada simplemente basada en resultados de muestreo diferente.

Una distinción básica es entre unidades de mapeo **homogéneas** y **compuestas**. Esto se refiere a la composición interna de la unidad de mapeo. Estos términos son relativos a un **sistema de clasificación específico** o una **lista de propiedades y sus límites**

diagnósticos. En otras palabras, una unidad de mapeo “homogénea” de un mapa categóricamente general puede ser lo mismo que una unidad de mapeo “compuesta” de un mapa cartográficamente detallado.

Nota: en algunos casos no conocemos si existen diferencias reales entre delineaciones de la misma unidad de mapeo, pero, o estas no son consistentemente mapeables o sus diferencias complicaran la leyenda innecesariamente. Algunas veces el reporte del levantamiento de suelos nos brindara información suplementaria Por ejemplo, en la parte norte del área de levantamiento, los suelos en esa unidad de mapeo tienen una fracción de arena de tamaño grueso.

Esquema de tipos de unidades de mapeo (tipos escritos en negrillas, son mas importantes)

1. Homogéneas

1.1 Consociación

1.2 Grupo indiferenciado*

2. Compuestas

2.2 Asociación

2.3 Complejo

2.4 Suelos No-asociados*

*(No todas las delineaciones tienen la misma composición)

Estas tienen el siguiente orden de nombres (a continuación se ilustran ejemplos de series de suelo), vea [53] para más detalles:

1. Homogéneas

1.1 Consociación: “Suelos Norfolk”

1.2 Grupo indiferenciado: “Suelos Norfolk, Goldsboro y Wagram”

2. Compuestas

2.1 Asociación: “Asociación Norfolk-Lynchburg”

2.2 Complejo: “Complejo Norfolk-Lynchburg”

2.3 Suelos No-asociados: “Suelos Norfolk o Dothan”

Ahora discutiremos estas unidades de mapeo en detalle.

Unidades de mapeo Homogéneas:

Definición: **“todas” las ubicaciones dentro de la delineación de una unidad de mapeo tienen las mismas características y se clasifican dentro del mismo nombre del suelo**, al nivel de clasificación utilizado en la nominación de la unidad.

Excepción: grupos no-diferenciados no tienen el mismo tipo de suelo en cada delineación.

Con propósitos de interpretación (ej. Evaluación de tierras) asumimos que unidades de mapeo homogéneas tienen los “mismos” valores para todas las características de la tierra. Los valores de las características de la tierra son típicamente medidos en rangos y dentro de una unidad de mapeo homogénea, estos rangos cubren toda la variabilidad de esa unidad. Los valores de las CATs no son idénticas pero se encuentran en rangos razonables (interpretables).

Cuanto más general es la clasificación, más amplio el rango de CATs en una unidad de mapeo “homogéneo”. Todavía, con fines de interpretación se considera una entidad simple.

En realidad, muy pocos cuerpos de suelo definidos por clases categóricamente detalladas o rangos de propiedades limitados son realmente homogéneos a escalas mapeables; vea “inclusiones” En levantamiento de suelos, realmente nos referimos a “**suficientemente homogéneo con fines interpretativos**” o “**lo más homogéneo posible para mapear con esfuerzo razonable**” con el contenido más pequeño de suelos contrastantes.

Unidades de mapeo Compuesta:

Dentro de cada delineación existen áreas significantes de más de una clase de suelos contrastante, de ahí que diferentes ubicaciones dentro de una unidad de mapeo pueden clasificarse como suelos diferentes al nivel de clasificación utilizado en el nombre de dicha unidad. Este tipo de unidad de mapeo esta constituido de dos o más constituyentes “homogéneos”. Donde el término “homogéneo” fue descrito anteriormente.

Excepción: suelos no-asociados no tienen la misma composición en cada delineación

Con propósitos de **interpretación** (ej. Evaluación de tierras) asumimos que una unidad de mapeo compuesta **no tiene los “mismos” valores para todas las características de la tierra** en toda su extensión; en general, áreas significativas de cada delineación tendrán propiedades y usos potenciales diferentes.

Las unidades de mapeo compuestas son utilizadas en **tres situaciones**:

- (1) cuando la **escala del mapa es muy pequeña** para mostrar constituyentes que de otra forma pudieron ser mapeados; y
- (2) cuando los constituyentes **no pueden ser separados a cualquier escala real**.
- (3) Cuando **no hubo suficiente muestreo** para establecer si (1) o (2) se aplica, pero es sabido que mas de un suelo contrastante ocurre en la unidad de mapeo.

4.1.1 Inclusiones

Muchos estudios mostraron que, en realidad casi no existen unidades de mapeo verdaderamente homogéneas a niveles categóricos de detalle y semi-detalle es escalas mapeables. Sin embargo, podemos mantener aun la distinción entre unidades

“predominantemente” homogéneas y unidades compuestas verdaderas, con el concepto de **inclusiones**.

Excepción: ciertos ambientes deposicionales extremadamente homogéneos (ej. Dunas de arena); algunas superficies de intemperización muy antiguas; ellas pueden ser homogéneas a casi cualquier nivel de detalle categórico.

Definición: una **inclusión** es un individuo suelo (pedon) contenido dentro los límites de una unidad de mapeo, que **no forma parte del nombre (clase de suelo) de esta unidad** o se encuentra fuera del **rango de propiedades** dadas por la categoría de la leyenda.

Note que a niveles categóricos más altos o con una definición más general de clases, la proporción de inclusiones automáticamente se reduce.

¿Porque existen inclusiones en un mapa de suelos tipo area-polígono?

1. El área es **muy pequeña para delinear a esa escala de mapa** (incluso si el edafólogo puede verla).

Ejemplo: una pequeña duna de arena presente en un paisaje de planicie (arenosa) grande

2. El componente cubre un área suficiente para ser delineado, pero su ubicación no puede ser mapeada consistentemente en el campo o en la fotografía aérea.

Ejemplo: en una unidad de mapeo para un suelo que es moderadamente profundo a la roca madre, pueden haber áreas significativas de suelos más profundos. Si abrimos una zanja profunda podemos ver esas áreas y mapearlas. En un clima húmedo, no existirán evidencias superficiales (debido a la humedad) que nos permitan mapearlas.

Otro ejemplo es si vegetación densa o cobertura nubosa hace imposible ver las geoformas en al fotografía aerea (ej, la amazonía Boliviana).

3. El componente es deliberadamente incluido en la unidad de mapeo nombrada por otro suelo para evitar mucho detalle cartográfico o categórico, aunque el componente es mapeable. Esto se da siempre y cuando los dos suelos tienen la misma funcionalidad en los usos de la tierra. Muchas veces, estas “inclusiones” son delineaciones separadas, incluso en diferentes posiciones del paisaje.

Ejemplo: pequeñas delineaciones mapeables de suelos aluviales donde la deposición ha sido obscurecida por la pedogénesis (Fluventic Dystrochrepts) pueden ser incluidas en una unidad de mapeo donde los suelos muestran aun la acumulación (layering) (Typic Udifluvents), de manera de evitar una categoría extra en la leyenda.

Mi consejo es: si puede mapear y describir un suelo particular que se encuentre en poca cantidad, hágalo. Puede que este tipo de suelo sea muy importante para ciertos usos. La computadora puede manejar cualquier número de categorías en la leyenda.

Esta es una decisión de correlación, no dictada por la escala de mapeo o el patrón de del suelo-paisaje.

Ejemplos de inclusiones

Utilizamos como ejemplo las unidades de mapeo del condado Edgecombe que usan la nomenclatura de la Taxonomía de Suelos 1975. Delineaciones muy grandes (≥ 1000 ha) del suborden Udults pudieron ser definidos sin inclusiones; así mismo áreas grandes (≥ 40 ha) incluso del gran grupo Paleudults. Sin embargo, al nivel de familia, existen cuatro compitiendo, mixed, mesic Paleudults, todos relacionados a la serie central o “key” Norfolk:

1. Serie Norfolk: fine-loamy (key)
2. Serie Marlboro: fine
3. Serie Aycock: fine-silty
4. Serie Wagram: fine-loamy, arenic
5. Goldsboro: fine-loamy, aquic

Ellos ocurren típicamente en áreas grandes relativamente homogéneas, presumiblemente dependiendo en la distribución del tamaño de partículas de los sedimentos y en el caso de Goldsboro, en la posición del paisaje.

1. Serie Norfolk: sedimentos fine-loamy, con drenaje en pendiente suave.
2. Series Marlboro: sedimentos finos, con drenaje y pendiente suave
3. Series Aycock: sedimentos fine-silty, con drenaje y en pendiente suave
4. Series Wagram: sedimentos fine-loamy con una fracción coarse sand, muy cerca al drenaje, en escarpes.
5. Goldsboro: sedimentos fine-loamy (Norfolk), lejano al drenaje o en posición plana o más baja del paisaje, haciendo que la napa freática se presente en el perfil durante casi todo el año.

Sin embargo, es posible encontrar pedones individuales de cualquiera de estas series dentro de una delineación; por ejemplo un pedon suavemente limoso (Aycock) o un pedon más argílico (Marlboro) o un pedon con alta influencia de la napa freática (Goldsboro) o un pedon de sedimentos gruesos con una capa superficial arenosa (Wagram) dentro de un área predominante Norfolk, debido a las diferencias en el sedimento original y la posición en el paisaje.

Resultado: incluso una buena delineación de Norfolk tiene un 10 a 20% de estas inclusiones por diferentes razones dependiendo en la inclusión.

4.1.1.1 Inclusión similar & disimilar

Claramente, no todas las inclusiones afectan el uso del mapa de suelos en la misma extensión. A cualquier nivel categórico podemos separar inclusiones “similares” y “disimilares” también llamadas “componentes”. La distinción básica es si los componentes actúan más o menos de manera semejante. De acuerdo al National Soil Survey Handbook [47]:

“**Componentes disimilares** son aquellos que difieren suficientemente de los componentes nombrados para afectar interpretaciones principales. **Componentes similares** son aquellos que difieren muy poco de los componentes nombrados de forma que las interpretaciones de suelo para la mayoría de usos es similar.”

Podemos ver que la “similaridad” es básicamente un concepto interpretativo (desde el punto de vista del usuario). Sin embargo, estos pueden ser vistos desde el punto de vista del productor (levantador de suelos). Avery [2] define componentes similares como sigue:

“Los **componentes similares** están concebidos como aquellos que: ocurren juntos en el paisaje, son semejantes en la mayoría de sus propiedades y comparten los límites de las clases de las propiedades diagnóstico en la cual ellos difieren”.

Note que las “propiedades diagnóstico” son definidas de acuerdo al sistema de clasificación. Ellas deben interpretar casi lo mismo para cada tipo de uso de la tierra. Por tanto, las dos definiciones usualmente identifican el mismo tipo de suelo como “similar”.

Por ejemplo, utilizando los datos anteriores del condado Edgecombe: Los suelos en las áreas de Goldsboro (S.T. 1975: fine-loamy, kaolinitic, thermic Aquic Paleudults) dentro unidades de mapeo de los suelos Norfolk (S.T. 1975: Fine-loamy, kaolinitic, thermic Typic Paleudults). Están formadas en el mismo material parental, forman una secuencia de drenaje y ocurren juntos en el paisaje, solo difieren en una propiedad diagnóstico que es la humedad del sub-suelo, así como propiedades accesorio como color y en la propiedad diagnóstico ellas comparten el límite de clase: aquic/typic. El incremento en la humedad del sub-suelo solo afecta marginalmente a la mayoría de interpretaciones. Algunos rendimientos de cultivo pueden ser mayores en años secos y bajos en años húmedos, pero no existirán diferencias extremas. Por tanto Goldsboro es considerado a ser “similar” a Norfolk, tanto en interpretación como en las propiedades diagnóstico.

¡Note que los **suelos pueden ser clasificados diferencialmente a cualquier nivel de la Taxonomía de Suelos y aun ser similar!** Esto depende en cuanto el suelo tendría que cambiar para ser clasificado de forma diferente.

Ejemplo 1: Typic Udifluvents (Entisols) difieren de Fluventic Dystrochrepts (Inceptisols) solo en que el Fluvent no tiene un horizonte cámbico debido al espesor. Esto es sugerido por el uso del nombre de subgrupo “Fluventic” para indicar el intergrado.

Ejemplo 2: Typic Hapludoll (Mollisol) vs. Typic Eutrudepts (Inceptisols); difieren simplemente en el espesor del epipedon (mollic vs. ochric); el epipedon ochric de los Eutrochrepts reúne todos los requisitos de un epipedon mollic excepto el espesor. Ninguno tiene un horizonte argílico pero ambos tienen una alta saturación de bases.

Ejemplo 3: Ultic Hapludalf (Alfisol) vs. Typic Hapludult (Ultisol), difieren simplemente en la saturación de bases en el horizonte argílico (35-60% vs. <35%).

Componentes disimilares

Componentes que no son “similares” son llamados “disimilares”. Esto se debe a una o más de las siguientes razones:

1. ocurre en componentes diferentes del paisaje
2. difiere en más de una propiedad, o
3. no comparte el límite de clase de las propiedades diagnóstico en la cual difieren
4. aunque comparten el límite de clase, las clases son muy amplias y el concepto central de la interpretación principal es muy diferente.

Ejemplos de estos tipos de componentes disimilares:

- (1) Un componente del paisaje completamente diferente (pequeñas galerías erodadas en una planicie);
- (2) Diferencias en profundidad, textura, clase de drenaje, plasticidad....., **demasiadas diferencias que permiten un comportamiento del suelo marcadamente diferente**; en otras palabras, suelos muy diferentes para la mayoría de propósitos. Note que algunas diferencias simples, notablemente el material parental, puede implicar muchas diferencias accesorias haciendo el suelo disimilar.
- (3) **Otro límite de clase** existe entre el suelo dominante y la inclusión (los suelos son separados en un espacio conceptual).

Ejemplo: Los suelos Lynchburg (ST 1975: Fine-loamy, siliceous, thermic Aeric Paleaquults) dentro de las unidades de mapeo de los suelos Norfolk (ST 1975: Fine-loamy, kaolinitic, thermic Typic Paleudults). Estos difieren en dos clases de drenaje, los suelos Lynchburg son Aquults en lugar de Uddults. Los suelos Goldsboro se encuentran entre estos dos en la secuencia de drenaje: Norfolk-Goldsboro-Lynchburg-Rains-Pantego. Así, un área de Lynchburg en una unidad de mapeo Norfolk es considerada una inclusión disimilar. Esta afectara seriamente cualquier interpretación.

- (4) Si **el nivel categórico es alto** (familias en la taxonomía de suelos), **incluso clases adyacentes a ese nivel categórico puede ser disimilar**.

Ejemplo: suelos en el mismo subgrupo con fine vs. clayey-skeletal family particle size classes. Aunque estas comparten un límite de clase de 35% de fragmentos gruesos en la sección de control, el rango de "fino" es 0-35% y de "clayey-skeletal" de 35-90% (límite de la clase "fragmental"). Los conceptos centrales de estas familias son probablemente 15% y 50% de fragmentos gruesos, los cuales son sujetos a interpretaciones diferentes para la disponibilidad de almacenamiento de agua, volumen radicular, laboreo, macroporos, etc.

El Manual de levantamiento de suelos de 1993 explica el razonamiento detrás de componentes similares y disimilares, como sigue:

"En la definición de unidades de mapeo, el juicio debe ser dirigido a los efectos de las inclusiones en el manejo de suelos y al esfuerzo de mantener el número de inclusiones bajo. Ejercitando estos juicios la visualización de dos diferencias entre componentes es útil. Si las diferencias son pequeñas, los componentes se comparan como similares. Si las diferencias son grandes, los componentes son contrastados como disimilares.

Los componentes similares son semejantes en la mayoría de sus propiedades y comparten límites de estas propiedades diagnóstico en las que difieren. Las diferencias van más allá de los límites de referencia del taxón o clase fase, pero ellos generalmente están dentro de los errores normales de observación.

Por otro lado, los componentes disimilares difieren apreciablemente en una o más propiedades y estas diferencias son lo suficientemente grandes para afectar en las interpretaciones".

4.1.1.2 Componentes disimilares limitantes & no limitantes

Todavía, los componentes disimilares pueden ser clasificados como limitante y no limitante para usos de la tierra específicos.

Limitantes: el componente disimilar es **menos apto para el uso de la tierra**. Su presencia tiene un impacto significativo en predicciones para la unidad de mapeo como un todo.

Ejemplo: un área de Lynchburg en una unidad de mapeo de Norfolk para un cultivo con enraizamiento profundo que requiere drenaje libre (tabaco). Este tendrá rendimientos bajos y retardar las operaciones de campo.

No limitante: los componentes disimilares es **igual o mas apto para el uso de la tierra**. De acuerdo al Manual de levantamiento de suelos de 1993:

“Si una inclusión no restringe el uso de áreas enteras o impone limitaciones en la factibilidad de practicas de manejo, su impacto en predicciones para la unidad de mapeo es pequeña. Inclusiones de componentes de suelo que tienen menos restricciones severas en el uso que una unidad de mapeo de suelo dominante no afecta negativamente las predicciones acerca de la unidad como un todo. Incluso ellas son beneficiosas. Este tipo de inclusiones son no-limitantes y la pureza interpretativa de la unidad de mapeo para la mayoría de interpretaciones no es alterada.

Ejemplo: una inclusión de Norfolk en un area mapeada como Lynchburg, para la mayoría de cultivos.

Note que los términos “limitante” y “no limitante” son relacionados al uso de la tierra. Sin embargo, los mapeadores en campo tienen conocimiento de los tipos de uso dominantes y usualmente tratan de reducir las inclusiones “limitantes” a través de varias estrategias, por ejemplo: “empujando” un límite transicional hacia el mejor suelo.

Símbolos punto

Los componentes disimilares tendrán claramente diferentes interpretaciones para la mayoría de usos de la tierra. El SSM dice:

“Suelos que no pueden ser utilizados factiblemente para los mismos propósitos que suelos vecinos son cruciales. Están delineados separadamente si la escala de mapeo lo permite.....**áreas muy pequeñas para delinear deben ser identificadas y ubicadas en el mapa con símbolos especiales**”

Estos son los símbolos punto (spot symbols) para áreas fuertemente contrastantes: Por ejemplo, areas húmedas, arenosas, escarpadas, rocosas, etc. Por definición, el punto es situado en el centro del área y ocupa hasta el tamaño de la MLD a esa escala. Un símbolo punto incrementa automáticamente la pureza de la unidad de mapeo en que se encuentra.

4.1.2 Unidades de mapeo homogéneas

Recuerde que no existen unidades de mapeo verdaderamente “homogéneas”, simplemente “lo suficientemente homogéneas” para la mayoría de propósitos. El Soil Survey Manual de 1993 (SSM), dice:

“En todos los levantamientos de suelo, virtualmente la delineación de cada una unidad de mapeo incluye áreas de componentes de suelo o áreas misceláneas que no son identificadas en el nombre de esta unidad de mapeo”

Esto es cierto especialmente cuando una taxa casi definida (series de suelo de la taxonomía de suelo) es utilizada para clasificar los “componentes suelo” del comentario previo.

4.1.2.1 Consociación

Estas son tan “homogéneas como se esperan” dentro un mapeo detallado. El SSM de 1993, dice:

“En una consociación, las áreas delineadas están dominadas por un taxón de suelo simple...y suelos similares”.

Donde “similar” fue definido anteriormente.

La definición de consociación viene de la experiencia en la variabilidad actual del paisaje en el mapeo de suelos a detalle. Existen varias reglas que no siempre son factibles o medibles; el correlacionador siempre utiliza su **juicio** personal basado en el efecto de la interpretación de la leyenda.

Las siguientes condiciones deben ser cumplidas por la unidad de mapeo para ser llamada “consociación”

1. **Al menos 50% del área de la consociación es clasificada en el nombre del taxón** (típicamente fase de serie o familia) o su taxa adjunta (ver abajo) en cada delineación de la unidad de mapeo.

Así , si la unidad de mapeo dice “Norfolk loamy sand, 0-2% slopes”, al menos 50% de los pedones debe clasificarse en las series Norfolk, ellos deben tener una textura areno francosa (loamy sand topsoil) en la superficie del suelo y pendientes entre 0 y 2%. Note que *todas* las delineaciones deben cumplir este criterio, no toda el área de la unidad de mapeo tomada como un todo.

Sin embargo, el National Soil Survey Handbook, nos permite un pequeño espacio de juicio: “Nota: algunas consociaciones de suelos pueden ser **menor a un medio el suelo nombrado** si la mayoría del restante de las unidades de mapeo consisten de **dos o más suelos** que son **similares al suelo nombrado**. “La unidad es nombrada en base al suelo dominante”. La idea es que no nombramos un complejo simplemente basada a que un suelo simple es $\geq 50\%$.

- 2. Al menos 75% del área de la consociación es clasificada en el taxon nombrado o en un taxon similar**, nuevamente en **cada delineación** de la unidad de mapeo. Note que el concepto de taxón “similar” es establecido por el sistema de clasificación y por el detalle de las interpretaciones.

En el ejemplo Norfolk, 75% de los pedones debe ser Norfolk, Goldsboro, Aycock, Marlboro o Wagram (ver ejemplo anterior), con cualquiera de las siguientes texturas: loamy sand, fine o very fine loamy sand, sandy loam, fine or very fine sandy loam en la superficie del suelo y de 0 a 6% de pendiente. El límite de clase de la pendiente de 2% es con clases de 2 a 6%, por tanto pendientes mayores a 6% son consideradas “similares”. Delineaciones diferentes pueden tener una taxa diferente similar.

Note que este total de 75% debe tener en general $\geq 50\%$ del taxón nombrado, debido a la regla (1) y el resto es entonces completado por inclusiones similares para un total de $\geq 75\%$. Si existe 60% del taxón nombrado, entonces las inclusiones similares deben ser $\geq 15\%$.

Si la regla (1) no es cumplida, la regla (2) llega a ser una extensión de la regla (1) con alta proporción requerida.

- 3. Como resultado de la regla (2), no más de 25% del área pueden ser inclusiones disimilares, incluso si son no limitantes.**

Para el ejemplo de Norfolk, no existen inclusiones no disimilares y no limitantes. Para una delineación de “Lynchburg areno francosa fina, de 0 a 2% de pendiente”, Norfolk será una inclusión disimilar pero no limitante; así podría haber $\leq 25\%$ de pedones Norfolk (bien drenados) dentro un área mapeada de Lynchburg (algo pobremente drenado).

- 4. No Más de 15% del área pueden ser inclusiones limitantes disimilares**

Esta es algo sorprendente si se detiene a pensar acerca. Hasta 15% del área de delineación puede ser un suelo “no útil” para un uso de la tierra particular y la delineación aun se llama “homogénea”. Pero, esta viene de la experiencia en paisajes a una escala de mapeo media.

Para el ejemplo Norfolk, esto implica que debe haber $\leq 15\%$ de Lynchburg (algo pobremente drenado) o más húmedo, arena pura en la superficie del suelo o areno francoso (subgrupo grossarenic) o pendientes $> 6\%$.

- 5. Una simple inclusión disimilar limitante no puede exceder 10% del área.** Esto implica que áreas “pequeñas” de suelos fuertemente contrastantes deben ser de diferentes tipos. Si un suelos fuertemente contrastante ocupa $> 10\%$ del área, debe ser reconocido en el nombre de la unidad de mapeo y esta debe ser compuesta. Una forma de indicar esta situación es utilizando símbolos como **puntos**; entonces estas áreas no son tomadas en cuenta en las reglas.

Pero, el SSM deja la definición abierta para excepciones ocasionales que cubren un área pequeña del total de la unidad de mapeo.

“la cantidad de inclusiones disimilares en la delineación individual de una unidad de mapeo puede ser mayor a esta si es que no existe un propósito útil para crear una nueva unidad de mapeo”

En la práctica, esto significa que algunas delineaciones tienen diferentes tipos de suelos menores que la mayoría, así las unidades de mapeo nuevas no son creadas para pocas delineaciones.

Nombrando consociaciones

Las Consociaciones son nombradas para el **taxón dominante** a **cualquier nivel categórico** utilizando el plural. En el caso de Familias dentro el ST, los criterios familia muchas veces van al final. Ejemplos:

Norfolk loamy sands, 0 – 3% de pendiente
Suelos Norfolk (este puede ser series o familia, la leyenda explica cual)
Typic Kandiuults, fine-loamy, kaolinitic, thermic
Udipsamments

¿Como podemos determinar si cumplimos estos límites? En general no tenemos suficientes fuentes para una muestra estadísticamente válida que garantice el grado de pureza requerido. Veremos algunos esquemas de muestreo posteriormente.

4.1.2.2 Grupos Indiferenciados

El criterio (1) anterior, asegura que no agrupamos suelos similares que ocurren en áreas geográficas diferentes dentro una sola unidad de mapeo y la llamamos consociación. Pero, podemos tener muchos suelos que interpretan lo mismo para todos los usos de la tierra anticipados. El correlacionador querrá simplificar la leyenda del mapa uniendo varias pequeñas categorías de leyenda que separadamente son consociaciones en una sola categoría de leyenda. Esto es permitido por el SSM con el uso de un **grupo indiferenciado**. Este no es "homogéneo" en composición debido a que delineaciones diferentes tienen suelos diferentes, sin embargo, es "homogénea" con fines de interpretación.

Ejemplo del estado de NY (USA): Las series Bath y Lackawanna están en la misma familia del ST (coarse-loamy, mixed, mesic Typic Fragiochrepts) y difieren simplemente en el Hue dominante (Bath: 10YR; Lackawanna: 5YR) debido a las diferencias en color del material parental sedimentario. En algunas áreas del levantamiento (Condado Broome, NY) existen áreas con ambos suelos pero no juntos: la sección oeste del condado tiene solamente Bath y la parte este solo Lackawanna, esto debido a las diferentes fases de las mismas series sedimentarias. Suponga que el 80% de las delineaciones en toda el área de levantamiento son Bath y 20% son Lackawanna, sin inclusiones.

Como ambos suelos interpretan lo mismo para todos los tipos de uso y el total de suelos Lackawanna ocupan un área relativamente pequeña en el área de levantamiento, el correlacionador tratará de simplificar la leyenda del mapa, incluyendo las delineaciones Lackawanna con las delineaciones Bath en una sola categoría de la leyenda. Si el correlacionador define una unidad de mapeo como "Bath", esta será una consociación excepto que el suelo Bath no ocurre en toda el área, exactamente en 20% de las delineaciones (todos son suelos rojos), esto viola la regla (1) de la consociación.

El grupo indiferenciado, entonces, tiene sus principales criterios:

1. El uso potencial y los métodos de manejo para los componentes nombrados son esencialmente lo mismo.
2. Los componentes *no* ocurren juntos en un patrón consistente en cada delineación.

Si la unidad de mapeo no cumple uno de los criterios anteriores, es una unidad de mapeo compuesta.

Así mismo, deben cumplir criterios de homogeneidad, similares a los de la consociación:

1. **Al menos 50% del grupo indiferenciado es clasificado en la taxa nombrada** o su taxa adjunta en cada delineación para cada unidad de mapeo. Delineaciones diferentes pueden usar taxa diferente para cumplir con este criterio.
2. **Al menos 75% del área de un grupo indiferenciado es clasificado en la taxa nombrada o en una taxa similar.** Esto es similar a al consociación, excepto que existe más de un taxón y no tienen que ocurrir en la mayoría de las delineaciones.
3. Como resultado de(2), **no más de 255 del área pueden ser inclusiones disimilares, incluso no limitantes.**
4. **No más de 15% del área deben ser inclusiones disimilares limitantes.**
5. **Una inclusión disimilar limitante no debe exceder el 10% del área.**

En USA los grupos indiferenciados son comúnmente utilizados para las fases **muy escarpada y pedregosa**, por tanto solo existe una categoría de leyenda para este. Problema: para algunos usos (explotación de canteras) la diferencia en el material parental puede ser importante. Mucha de la motivación para grupos indiferenciados viene del deseo de tener un número pequeño de categorías de leyenda y de ahí, reportes de levantamientos de suelos delgados y menos trabajo para el correlacionador. Pero con la tecnología moderna de información esto llega a ser menos importante.

El uso de grupos indiferenciados hace la correlación más difícil entre diferentes áreas de levantamiento.

Siguiendo el ejemplo anterior, si el levantamiento del condado de Broome es correlacionado al levantamiento de suelos del condado de Tioga, donde los suelos Lackawanna no ocurren, veremos delineaciones de "Bath" que correlacionan a través del límite del condado con "Bath y Lackawanna". Si correlacionamos con el levantamiento del condado Delaware donde suelos Bath no ocurren, veremos delineaciones de "Lackawanna" correlacionar a través del límite del condado con "Bath y Lackawanna". Ahora, si quisiéramos hacer un levantamiento unificado para los tres condados (por ej, crear una base de datos estatal uniforme), debemos re-correlacionar la consociación Bath y la consociación Lackawanna al grupo indiferenciado "Bath y Lackawanna", ¡por tanto perder información!. Habría sido mejor mapear los suelos Bath y Lackawanna separadamente en el condado Broome; entonces las consociaciones serían correlacionadas alrededor de toda el área.

Una nota final acerca de este ejemplo: ambas series están dentro la misma familia taxonómica, si el nivel categórico fuera desde un principio Familia según ST, los tres condados tendrían la misma consociación.

Nombrando grupos indiferenciados

Estos son nombrados por los constituyentes utilizando la palabra “y” por ejemplo: “Bath y Lackawanna franco limosos”.

Mi opinión personal para este caso es: se debería utilizar dos consociaciones: Bath y Lackawanna.

4.1.3 Unidades de mapeo compuestas

Si la unidad de mapeo no cumple los requisitos para ambos tipos de unidades de mapeo homogéneas (consociaciones y grupos indiferenciados), esta es una **unidad de mapeo compuesta**, donde **más de un suelo debe ser nombrado explícitamente**.

Primero dividimos de acuerdo a que si los diferentes suelos en la unidad de mapeo ocurren en un “patrón conocido y definido” en el paisaje, esto es conocido por el levantador (surveyor). Esto no significa que el levantador puede mapearlos a la escala de mapeo, simplemente que el patrón es conocido.

4.1.3.1 Suelos no asociados

En el caso donde los componentes de una unidad de mapeo donde no todos ocurran en cada delineación o si incluso no sabemos si los suelos siempre ocurren juntos y adicionalmente los componentes no tengan interpretaciones similares, debemos utilizar la unidad de mapeo tipo “suelos no asociados”. Lo que estamos admitiendo con este nombre es que el usuario del mapa puede encontrar uno o todos los suelos nombrados en cualquier delineación y que los diferentes suelos tendrán diferentes propiedades y manejo.

Esto es usualmente una **mala idea** y en general indica que **el levantador no entiende el paisaje** y por tanto ha creado una simple unidad de mapeo fuera de un conjunto de delineaciones incorrectas. Sin embargo, en algunos paisajes complejos o con **muestreo insuficiente**, esto puede ser de hecho le verdadero estado de conocimiento del levantador. En estos casos, es más honesto utilizar la unidad de mapeo de “suelos no asociados” en lugar de una o de las dos que siguen.

Nombrando un suelo no asociado

Nombre los suelos que podemos encontrar en las delineaciones de la unidad de mapeo, utilizando la conjunción “o”, añadiendo suelos al nombre de la unidad de mapeo hasta que los criterios de homogeneidad se cumplan, usando todos los suelos nombrados para llegar a ellos.

Ejemplo: “Suelos Norfolk o Lynchburg”. Esto significa que podemos encontrar cualquiera de estos suelos en cualquier delineación y no tenemos idea acerca del apróndentro las delineaciones.

4.1.3.2 Asociaciones

Si los suelos (contrastantes) principales y su patrón es conocido y **este patrón es similar en cada delineación de la unidad de mapeo**, entonces dividimos dentro de esas unidades de mapeo las cuales pueden ser mapeadas como unidades de mapeo homogéneas a escalas “razonables” (estas son las **asociaciones**) y aquellas donde el patrón del suelo es muy intrínseco haciendo que no puedan ser mapeadas (estos son los **complejos**).

Asociaciones: los componentes pueden ser mapeados separadamente a una escala grande.

Complejos: los componentes no pueden ser mapeados separadamente a una escala grande.

¿A que nos referimos con escalas “razonables”? En la práctica, una escala arbitraria (1:24000 de acuerdo al manual de levantamiento de suelos de 1993) es aceptada como la escala más grande forma práctica. En otras palabras, si los constituyentes no pueden ser mapeados consistentemente a esa escala, entonces la unidad de mapeo compuesta es un complejo. Así, los componentes de una asociación tendrán que ser al menos del tamaño de el MLA a la escala 1:24000, es decir 2,3 ha. Sin embargo, en USA, muchos mapas de suelos están siendo generados a una escala 1:12000 (MLA = 0,6 ha), de esa forma, talvez este criterio será cambiado.

SSM: Asociaciones son unidades de mapeo compuestas de dos o más suelos que pueden ser separadamente mapeados como consociaciones a escalas de 1:24000 (1:12000?) o mayores.

Esto es algo ilógico porque confunde la escala del mapa con el patrón del suelo. Tal vez los complejos deben ser definidos como patrones de suelo que **no son mapeables a cualquier escala razonable** y tendrán que ser mapeados a través de un muestreo exhaustivo e interpolación.

Mi definición: Una **asociación**, es una unidad de mapeo a una escala dada donde los suelos contrastantes ocurren en un patrón **regular, predecible y mapeable** a cualquier escala practica grande. Adicionalmente, **todos los componentes deben ocurrir en aproximadamente las mismas proporciones en todas las delineaciones de la unidad de mapeo**. Por “mapeable” me refiero a que existen elementos externos consistentes (Geomorfología, vegetación, uso de la tierra, propiedades de la superficie y topografía...) para asistir en la delineación.

Definición: las asociaciones pueden ser separadamente mapeables, basadas en elementos externos a una escala (real) grande; especifique esa escala al usuario del mapa (por ej. “asociación mapeable a la escala 1:12000”).

Un buen test para saber si una unidad de mapeo es o no una asociación, es si usted puede hacer un **diagrama** de la delineación típica mostrando el patrón de los constituyentes y como puede encontrarlos en el campo. La expresión campo puede ser la relación paisaje o simplemente una señal visual. **Catenas** son usualmente asociaciones, con límites que pueden ser inferidos en el campo o en la fotografía desde la cima de una serranía y por la humedad de la superficie o el color.

Ejemplos:

1. Una catena con una dimensión linear de 300 m desde la cima hacia la parte baja contiene tres suelos que corresponden a la posición del modelo ladera: la cima y hombro, la ladera y el pie de ladera. Estos pueden ser vistos y delimitados en la fotografía aérea. Sin embargo, si el ancho de cada cuerpo de suelo en el transecto es 100 m, este no puede ser mostrado a una escala menor que 1:50000 ($100 \text{ m}_t = 2\text{mm}_m$ ancho mínimo de delineación en el mapa). Este es un ejemplo típico en muchos paisajes y muestra el porque mapas a escala 1:25000 muestran consociaciones y mapas a escala 1:100000 casi nunca.
2. Suelos “photoles” (puntos anegados) en pequeñas cuencas de 200 m² en un patrón intrincado, entre pequeñas colinas con una distancia recurrente de 100m (photoles en mas o menos 100 m de grilla). Un suelo bien drenado se encuentra en las pequeñas colinas mientras que un suelo pobremente drenado en los photoles. Estos pueden ser fácilmente vistos en el campo y en la fotografía aérea. Ellos podrían ser delineados a una escala de mapa 1:2250 correspondiendo a una MLA de 200 m². Ellos no pueden ser delineados incluso a 1:5000. Para el SSM, estos son complejos; Yo los considero asociaciones aunque solo a una escala de mapeo muy detallada.

Las asociaciones son muchas veces utilizadas para mapas de suelos a nivel de semi-detalle o a escalas más pequeñas y para generalizaciones de mapas de escala grande.

Como nombrar asociaciones

Las asociaciones son nombradas en base a sus suelos dominantes (es suficiente cumplir los criterios de homogeneidad para una consociación, pero los suelos considerados juntos), **los nombres separados por un guión “-”** y con la palabra “asociación”, por ejemplo “Asociación Norfolk-Goldsboro loamy sands, 0-2% de pendiente”. **Los suelos son nombrados según el área cubierta dentro de la unidad de mapeo**, incluyendo en cada suelo cualquier inclusión similar.

Un ejemplo típico viene del levantamiento de suelos a detalle del condado Cayuga (NY, USA). La asociación es una asociación de drenaje de suelos de textura pesada en sedimentos lacustrinos recientes: los suelos imperfectamente drenados franco limosos Schoharie, los suelos pobremente drenados franco limosos Odessa y los suelos pobremente drenados franco arcillo limosos Lakemont. Estos suelos y sus taxa adjunta ocupan 40, 30 y 20% respectivamente del área de estudio. También se encuentra incluido en esta asociación cerca de 10% de áreas topográficamente altas de textura glacial fina que no fueron cubiertos por los sedimentos lacustrinos, estos son lo suelos franco limosos Cazenovia. Dentro de una área típica de 100 ha, los cuatro están presentes en un patrón predecible y reconocible. Aquí el diagrama puede mostrarnos la posición del paisaje, el cual está directamente relacionado a las clases de drenaje y es fácilmente observable en el campo y fotografías aéreas. Un mapa semi-detallado a escala 1:100000 tiene una MLD de 40 ha por tanto no puede mostrar estos suelos separadamente, sin embargo ellos pueden ser mostrados como una asociación.

Así, el nombre de esta unidad de mapeo es “Asociación Schoharie-Odessa-Lakemont”; tiene una inclusión disimilar: 10% Cazenovia. Este difiere de todos los otros suelos porque no tiene material lacustrino, solo material glacial; así mismo esta bien drenado (aunque en ese aspecto sea similar a Schoharie, el cual es imperfectamente drenado).

Una vez que un componente es parte del nombre de la asociación, este no es más una inclusión. La pureza de la asociación es la suma de las purezas de sus

componentes. En particular si existen suelos similares, ellos son agrupados con el nombre del componente al cual más se asemejan.

4.1.3.3 Complejos

Las unidades de mapeo que no cumplen con los requisitos de una asociación, simplemente porque los componentes no pueden ser mapeados separadamente, son llamadas **complejos**. Pero, todos los componentes deben ocurrir en aproximadamente las mismas proporciones en todas las delineaciones de la unidad de mapeo; de otro modo, estos serán suelos no asociados. Así mismo, los componentes deben ser contrastantes, de lo contrario ellos podrían ser agrupados en una consociación.

Como nombrar complejos

Los complejos son nombrados a través de sus suelos principales (suficiente para cumplir los criterios de homogeneidad para una consociación, pero los suelos tomados en su conjunto), los nombres separados por un guión “-“ y con la palabra “complejo” , por ejemplo: “Complejo Methwold-Newmarket-Worlington”. Los suelos son nombrados según el área cubierta dentro de la unidad de mapeo.

Como ejemplo serán las tierras de East Anglia (Dent and Young [24]) antes de que el drenaje elimine el patrón. Los canales de arena fueron enterrados muy profundo para ser vistos en una fotografía aérea y en el campo ya que fueron cubiertos por barro hasta 1 m. Ellos podrían ser vistos a través de excavaciones >1m e incluso fuera de esas excavaciones cansadoras, estas tendrían que ser distribuidas cada 10m o menos para encontrar los pequeños canales. Aun por muestreo, es sabido que 20% de la unidad de mapeo tiene canales de arena enterrados por debajo de 1 m, este es obviamente un suelo diferente. Por tanto un complejo de dos suelos habría sido la correcta unidad de mapeo a cualquier escala.

4.1.4 Clave para los tipos de unidad de mapeo

Palabras clave: delineación, unidad de mapeo, componentes, taxón, taxa similar y disimilar, taxa adjunta (ver abajo, sólo se aplica a las series dentro del ST), componente dominante, mapeable.

¿Todas las delineaciones de la unidad de mapeo tienen los mismos componentes, en proporciones similares?

..1. **Si**. Considere el taxón del componente dominante (el que ocupa la mayor área)

... ≥75% en el taxón, taxa similar o su taxa adjunta?

... .. 1.1 **Si**

... .. <15% disimilar, limitante con respecto al taxón?

... .. 1.1.1 **Si**

... .. <10% cualquier simple disimilar, limitante con respecto al taxón?

... .. 1.1.1.1 **Si**

... .. ≥50% en el taxón o sus taxas adjuntas?

... .. 1.1.1.1.1 **Si** → **Consociación** del taxón dominante

... .. 1.1.1.1.2 **No**: pase a 1.2

... .. 1.1.1.2 **No**: pase a 1.2

... .. 1.1.2 **No**: pase a 1.2

... .. 1.2 **No**. Grupo de componentes por su similaridad

... .. Los componentes ocurren en un patrón **regular y mapeable** a una escala práctica grande?

... .. 1.2.1 **Si** → **Asociación** de los principales componentes agrupados por similaridad

... .. 1.2.2 **No** → **Complejo** de los principales componentes agrupados por similaridad

..2. **No**

... .. Todas las delineaciones de la unidad de mapeo tienen casi interpretaciones iguales para todos los usos de la tierra?

... .. 2.1 **Si** → **Grupo indiferenciado**

... .. 2.2 **No**

... .. Todas las delineaciones separadamente reúnen los criterios para una consociación de sus primeros componentes?

... .. 2.2.1 **Si** → Cree varias unidades de mapeo y asigne delineaciones a estas unidades de mapeo

... .. 2.2.2 **No** → **Suelos no asociados**

..3. **No se** → **Suelos no asociados**

4.2 Unidades de mapeo clasificadas por su nivel categórico

Para mapas tipo “area-clase”, debemos agrupar las observaciones (puntos) y/o separar el paisaje continuum en segmentos (unidades de mapeo) y describir los contenidos de los segmentos.

4.2.1 ¿Que contiene un nombre?

Opción 1: Nombres locales por observación directa

Una alternativa es separar suelos “similares” por observación directa y darles nombres locales (si existe relación con nuestras observaciones), o incluso nombres arbitrarios como “suelo A”, “Suelo B”, etc. Podemos agrupar observaciones en clases locales significativas. Esto requiere correlación cuidadosa de diferentes observaciones para asegurar que no creamos clases falsas. Las técnicas de ordenación multivariada son aplicables acá si existen datos suficientes [56].

Opción 2: Características por observación directa

O, podríamos llamar a las unidades de mapeo directamente por sus características: “superficial, suelos arcillosos, rojos, pedregosos, etc”. En este caso **no existe intención de correlación ni crear categorías leyenda**. Al contrario, cada delineación (usualmente una unidad de paisaje natural) es descrita directamente.

Las características son típicamente de un conjunto estándar:

1. Tipo de Epipedon: {Mollic, Ochric (Mollic delgado), Ochric (no Mollic)}
2. Clase de tamaño de las partículas superficiales: {muy fina, fina, fina-franca,..., arenosa}.
3. Clase de tamaño de las partículas sub-superficiales: {muy fina, fina, fina-franca,..., arenosa}.
4. Profundidad al cambio de textura: {0 = sin cambio, 1 = <20cm, 2 = 20-40 cm..}
5. Erosión actual: {0 = ninguna, 1 = ligera,...} , etc

Los **problemas** obvios con este enfoque son:

1. El número de características significantes es grande, por tanto el símbolo de delineación es inconveniente.
2. No existe el concepto de suelo como cuerpo natural donde estas características ocurren juntas (co-varían). Por ejemplo, epipedones Ochricos pueden estar siempre asociados con suelos superficiales en laderas de pendiente fuerte. Solo viendo cada delineación se descubrirá esta situación.

De hecho, el concepto de **series** (4.3) fue pensado como la **taquigrafía** para la combinación de propiedades específicas.

Opción 3: Cualidades de la tierra por observación directa

Similarmente, podríamos nombrar las unidades de mapeo directamente por sus cualidades de la tierra: “capacidad de retención de humedad alta, baja erodabilidad, fácil laboreo...”. Esto requiere que el levantador interprete no sólo el mapa, lo cual probablemente es muy difícil para el mapeo de rutina.

Opción 4: Nombres dentro un sistema de clasificación

En general utilizamos nombres con amplia aceptación y definición mas o menos precisa. Esta tiene tres propósitos:

1. Facilita la *nomenclatura local*, porque la mayor parte del trabajo que es la definición de clases ya fue realizada.
2. Facilita la *interpretación*, porque el suelo nombrado ocurre en cualquier otra parte también y podemos utilizar resultados de otros experimentos,

interpretaciones existentes o de la experiencia de un área más grande para realizar predicciones para el presente levantamiento en nuestra área específica.

3. Posibilita la *correlación* con otras áreas mapeadas, promoviendo la estandarización de los levantamientos de suelos y sus bases de datos.

4.2.2 Unidades taxonómicas vs. unidades de mapeo

La **clasificación taxonómica** agrupa **individuos**; una **unidad de mapeo** es una **asociación geográfica**. Los límites del ST están definidos para agrupar individuos “similares”; los límites de una unidad de mapeo están en la práctica definidos geográficamente. ¿Hasta que punto puede ser emparejado?

Una crítica al uso de las unidades taxonómicas para el mapeo fue hecha por Butler [16], quien dijo:

“a menos que las clases (del sistema de clasificación) correspondan aproximadamente a las características naturales del área de levantamiento y al menos conformen aproximadamente a las discontinuidades más obvias en el paisaje, ellas serán difíciles de mapear y requieren la subdivisión de áreas que por sentido común e interpretación requieren ser subdividas”.

Será extraño para un usuario ver un límite de suelo que divida lo que es claramente un paisaje “homogéneo” y una unidad de suelo, desde el punto de vista de todos los usos de la tierra razonables. Y de hecho será difícil encontrar ese tipo de límite con exactitud.

Los americanos [48] admiten que:

“Cuando los límites de la taxa del suelo son sobre-impuestos sobre el patrón del suelo en la naturaleza, las áreas de estas clases taxonómicas raramente (si alguna vez) coinciden precisamente con áreas mapeables”.

Una forma de ver este problema es aceptar el llamado **vacío** entre el sistema de clasificación y las unidades de mapeo y establecer normas para relacionar este sistema y los cuerpos “naturales” suelo como veremos más adelante. Otra forma es estableciendo “taxa adjunta” (ver abajo). En la práctica, si el sistema taxonómico ha sido diseñado en base a una amplia experiencia en campo, la discordancia entre las unidades taxonómicas y unidades naturales será lo más pequeña posible (esta es de hecho la forma en que el ST fue desarrollado).

4.2.3 La Taxonomía de suelos como leyenda de mapeo

Una alternativa es usar la taxonomía de suelos directamente como la leyenda de mapeo, en otras palabras, los nombres de las unidades de mapeo vienen directamente del ST y siguen las reglas del SSM para designar su composición. Para entender porque esta es una buena alternativa, primero debemos entender algunos conceptos acerca del ST.

4.2.3.1 *Algunos aspectos de la taxonomía de suelos*

La referencia original es [46], “el Gran Libro Verde”. Desde su publicación muchas claves con enmiendas han sido publicadas; el Gran Libro Verde ha sido revisado y actualizado en los principios de 1999.

1. La Taxonomía de Suelos fue explícitamente diseñada para **apoyar** las operaciones en el levantamiento de suelos en USA, específicamente la **correlación** y agrupamiento de suelos. Pero, **no** fue diseñada como una leyenda de mapeo lista (receta); en USA casi todas las “series de mapeo” han sido correlacionadas con el ST.
2. Con fines de uso, es un sistema **deductivo**, es decir clasificamos pedones de acuerdo a una clave lista con límites “estrictos” (actualmente existen algunas ambigüedades que se encuentran en deliberación).
3. Pero, fue creada y revisada como un sistema **sintético**, es decir, es un intento de agrupar suelos similares a niveles apropiados. Cuanto más cercana la relación entre suelos, cuanto más lejana dentro el sistema será dividida.. De esa forma, resume el intenso trabajo mayormente en USA pero en incremento en otros países, en las diferencias entre suelos más importantes. En este sentido puede ahorrar mucho trabajo al observador, es como un catálogo listo de las propiedades más importantes de los suelos, basada en amplio trabajo de campo y datos de laboratorio.
4. El ST es un sistema de clasificación jerárquico, una vez que un suelo es clasificado en la categoría más alta, se queda ahí y pasa al siguiente nivel jerárquico. Niveles: (1) Orden, (2) Sub-orden, (3) Gran Grupo, (4) Subgrupo, (5) Familia, (6) Series. Podemos ver, que incluso las series son consideradas parte del sistema y de hecho fue un requerimiento explícito en el desarrollo del sistema que las series fueran el nivel más bajo en la jerarquía.
5. Una característica de suelo dada puede aparecer en cualquier nivel jerárquico, dependiendo en la importancia que perciba el observador. Por ejemplo: el régimen de humedad del suelo puede ser al nivel de Orden (Ej, Aridisols), Suborden (ej. Udults), Gran Grupo (ej. Udipsamments) o Subgrupo (ej. Ustic Quartzipsamments), o no todos (ej. Haplofibrists puede ser udic o ustic).
6. Muchas veces, una característica de suelo específica no aparece en el nombre, pero simplemente se debe a la forma en que la clave fue construida, es decir las preguntas que tienen que ser respondidas para arribar a una clasificación específica.

4.2.3.2 *¿Se debe utilizar el ST como leyenda de mapeo?*

Desde la 3^{ra} revisión de la Clave para la Taxonomía de Suelos (1988), en teoría cualquier suelo individuo puede ser clasificado al nivel de familia en el ST, como ejemplo: todos los pedones deben ser clasificados al nivel de familia. Por tanto, como cada suelo puede ser clasificado, ¿podemos usar el ST directamente como una leyenda lista?

Si

1. El sistema fue diseñado para apoyar el levantamiento de suelos en USA y recibió importantes contribuciones de otros países. Sintetiza varias diferencias importantes a niveles apropiados de clasificación, entonces, ahorra mucho trabajo a los edafólogos que a veces tratan de “re-inventar la rueda”. **Los límites en el ST son importantes con fines de interpretación.**
2. Una gran parte del problema de la correlación es reducido para una “clasificación correcta” (aun, necesitamos determinar la composición de las unidades de mapeo y asignarles un nombre correcto).
3. En un periodo de tiempo corto, puede ser impracticable crear Series basadas en sistemas de clasificación local, entonces, si utilizamos un sistema existente, podemos producir una “leyenda instantánea”.
4. Existe una metodología bien desarrollada por el ITC “el enfoque Geopedológico” que utiliza el ST para nombrar las unidades de mapeo, es ampliamente utilizado en levantamientos de suelo a nivel de reconocimiento y semi-detalle y también organizaciones nacionales encargadas del levantamiento de suelos.

No

Algunas razones del porque no es una buena idea:

1. Puede no incluir todos los suelos, especialmente en el trópico o en áreas con combinación de factores formadores del suelo que no fueron encontradas durante el desarrollo de la Taxonomía de Suelos (por ejemplo los Anthrosols). Antes de las primeras versiones, existió un tratamiento inadecuado de los Andosols y suelos congelados. Actualmente, estos suelos están “incluidos” en el ST, por tanto pueden ser clasificados, pero no serán separados de los suelos diferentes.
2. Es posible hacer distinciones en un área en el nivel categórico erróneo, por ejemplo, diferencias importantes de las propiedades del suelo se pueden encontrar en el nivel o jerarquía más baja del sistema.

Ejemplo: cambios texturales abruptos simplemente al nivel de serie, cuando estos controlan el uso de la tierra en un área determinada.

Ejemplo: no existen Gleysols, aún sabiendo que en algunas áreas es el nivel categórico (conceptual) más alto de las diferencias de suelo.

Ejemplo: Comenzando la 8^{va} edición, los Umbrepts no existen más, los cuales son suelos ácidos ricos en contenido de carbón. Ellos son reconocidos ahora al nivel más bajo, como Humic Dystrudepts.

Ejemplo: (Nordt, 1991 N°951 Paleustalfs pueden tener un cambio textural abrupto o simplemente un horizonte argílico grueso pero con un cambio textural

gradual. Existen diferencias principales en la relación suelo-agua, todavía en un mapa de grandes grupos los dos tipos estarán juntos en una consociación).

3. No puede hacer importantes distinciones aún. Por ejemplo en Holanda: la susceptibilidad a compactación permanente. Por supuesto, esta puede ser utilizada aun para formar una serie, pero uno esperaría que ese tipo de diferencias importantes serán reflejadas a niveles categóricos más altos.
4. Puede hacer distinciones correctas pero con criterios diagnósticos que no son lo óptimo para un área específica. Por ejemplo: 35% y 50% de saturación de base; donde los límites naturales separando los dos grupos importantes en un área pueden estar concentrados en 30% y 60%.

4.2.3.3 *Incrementando el detalle categórico por nivel*

Todos los niveles de la Taxonomía de Suelos pueden ser utilizados dependiendo en la escala del mapa y la información disponible; cada vez más, información específica es utilizada a niveles bajos.

Algunos órdenes tienen razonablemente una interpretación específica:

Histosols: principalmente materia orgánica
Vertisols: dilatación y contracción de arcillas
Gelisols: permanentemente congelados

Otros órdenes tienen algún valor interpretativo, pero con mas diferencias dentro el orden:

Alfisols: suelos con alta saturación de bases y contraste textural (sub-suelos pesados).
Ultisols: suelos de baja saturación de bases y contraste textural (sub-suelos pesados).
Oxisols, Andisols: mineralogía y propiedades físicas específicas
Mollisols: alta saturación de bases, alto contenido de materia orgánica, horizonte superficial grueso, suave y oscuro.
Spodosols: textura gruesa, ácidos, complejos de hierro-aluminio-materia orgánica.

Y algunos órdenes tienen muy poco valor interpretativo:

Entisols:
Inceptisols:
Aridisols:

Sub-órdenes: indican algunas características principales, por ejemplo: suelo-clima (udults vs. ustults), drenaje (Aqults vs. Udults), las principales características que influyen las propiedades de los suelos (Salids, Calcids,...), la razón principal para la clasificación en un orden (Psamments, Fluvents,...). Algunas de estas propiedades son directamente importantes para ciertas interpretaciones.

Grandes Grupos: os brindan otras propiedades importantes de los suelos, por ejemplo: “Fragi”Udepts vs. “Distr.”Udepts (sin Fragipanes, baja saturación de bases) vs “Eutr”Udepts (alta saturación de bases). Pero, vea el ejemplo anterior de los Paleustalfs.

Sub-grupos: indican transición a otra taxa, por ejemplo: sub-grupos “Vertic”; inter-grados drenaje “Aquic”, “Aeric”, etc., así como propiedades internas: “Lithic”, “Abruptic”.

Familias: es posible realizar muchas interpretaciones aquí. Incluye regímenes de humedad y temperatura, clases del tamaño de partículas incluyendo una idea general de fragmentos gruesos en el perfil, mineralogía de arcillas incluyendo la actividad de las arcillas.

4.2.3.4 Correspondencia entre el nivel taxonómico de la leyenda del mapa & la escala del mapa

El ST fue diseñado para apoyar la tosca relación entre ambas. En algunas áreas funciona adecuadamente, pero muchas veces existe poca correspondencia.

Correspondencia aproximada: Series 1:20000, Familia 1:50000, Sub-grupo 1:100000, Gran Grupo 1:250000.

Pero esto muchas veces no es cierto. Una simple delineación detallada puede fácilmente incluir muchos Órdenes. O, una delineación en un mapa de escala pequeña puede simplemente contener una proporción de la variación total permitida en un nivel taxonómico alto.

4.2.4 La WRB(World Reference Base) como leyenda de mapeo

La “Base de Referencia Mundial para la Clasificación de Suelos” (abreviación WRB) es el sistema internacional estándar de clasificación de suelos, aceptado como tal en el 16th Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo en Montpellier (1998) [9, 23, 30]. Fue desarrollado a través de una colaboración internacional coordinada a través del International Soil Reference and Information Centre (ISRIC) y patrocinada por la International union of Soil Science (IUSS) y la FAO a través de su División de desarrollo de Agua y Tierra.

“Un sistema mundial de referencia para el recurso suelo es una herramienta para la identificación de estructuras pedológicas y su significancia. Sirve como lenguaje básico en la ciencia del suelo y facilita (1) la comunicación científica; (2) la implementación de inventarios de suelo y transferencia de datos pedológicos, la elaboración de diferentes sistemas de clasificación con una base común, la interpretación de mapas, etc.; (3) el uso internacional de datos pedológicos, no solo por edafólogos sino también por otros usuarios del recurso suelo en el sistema tierra.”

No fue diseñado pensando en un apoyo directo al mapeo de suelos, más bien fue diseñado para correlacionar conceptos centrales de clases de suelos localmente definidas. Sin embargo, como el ST, el WRB provee una referencia lista para un número grande de propiedades edafológicas importantes y podemos pensar acerca de su uso directo como una leyenda de mapeo.

4.2.4.1 Estructura del sistema WRB

La WRB es un sistema de clasificación de dos niveles:

En el **primer nivel**, existen **30 Grupos de Referencia**. Ejemplos: Histols, Fluvisols, Luvisols. Estos representan agrupaciones de suelos individuos que son el resultado de los principales procesos formadores de los suelos y de esa forma tienen un comportamiento ampliamente similar. De manera general, este corresponde al nivel de **Sub-orden** (2^{do} nivel) (ver abajo).

En el **segundo (inferior) nivel**, existen subdivisiones de cada Grupo de Referencia utilizando cualquier combinación de los 121 calificadores. Ejemplos: Leptic Umbrisols, Chromic-Vertic Luvisols. Es posible utilizar un solo calificador o varios calificadores relevantes. Estos grupos dentro el segundo nivel muestran propiedades más específicas dentro el grupo de referencia. De manera general, estos corresponden al nivel de Sub-grupo en la **Taxonomía de Suelos** (4^{to} nivel).

Estos dos niveles no son comprensibles: ellos no incluyen todas las **propiedades internas del suelo o las características del sitio** que caracterizan unidades de mapeo en mapeo a detalle:

- (1) Algunas **propiedades internas detalladas no están consideradas** a este nivel de detalle, especialmente las capas del sub-estrato, espesor y morfología del solum u horizontes individuales. Estas pueden ser utilizadas para definir **familias, series o formas locales**, para **levantamiento de suelos detallados**.
- (2) El segundo nivel no toma en consideración muchos factores del sitio que son importantes entre las unidades de mapeo de los suelos. En particular: el clima, material parental, vegetación, profundidad de la napa freática o drenaje y elementos fisiográficos como la pendiente, geomorfología o erosión, no están considerados como tal, excepto si ellos afectaron la morfología de los suelos. Estos elementos pueden ser utilizados localmente para definir las fases de mapeo, pero no están consideradas como propiedades de los suelos para ser clasificadas como tal.

4.2.4.2 Uso de la WRB para nombrar las unidades de mapeo

A **niveles categóricos altos**, los nombres de la WRB pueden ser utilizados directamente.

A **niveles categóricos bajos**, los nombres de la WRB deben ser complementados con mayor información específica, ya sea como **familias o series**, así como información de sitio como **fases de mapeo**.

Una idea razonable es utilizar el **criterio de familia en la Taxonomía de Suelos** directamente como el 3er nivel en los nombres WRB, incluyendo también el **régimen de humedad del suelo**, el cual es casi siempre utilizado por la clasificación del ST a nivel de sub-grupo. Las claves para familias en el KST (Claves para la Taxonomía de Suelos)

debe ser ajustado para los nombres WRB, ya que ellos algunas veces se refieren a niveles altos de la KST.

Estas familias pueden ser utilizadas para agrupar las **series**.

4.3 Las series de suelo

En mapeo de suelos a detalle y el paisaje como tal, el continuo de las características del suelo es dividido relativamente en series naturales de suelo. Este es un término controversial y algunas veces confuso, con una larga y compleja historia, así como diferencias importantes en su uso entre los países. Nosotros simplemente estudiaremos dos conceptos modernos de las series de suelo: una definición por sentido común (Dent & Young) y la definición formal de la USDA (Soil Taxonomy and the Soil Survey Manual).

De acuerdo a Dent & Young [24]:

“La serie de suelo es concebida como una **agrupación de suelos que son semejantes en sus características y comportamiento en el paisaje**. Los suelos dentro de una serie, **han sido desarrollados sobre el mismo material parental en el mismo ambiente** y sus **perfiles son semejantes, con horizontes que son similares en su secuencia vertical, espesor y propiedades morfológicas**”.

“Se pretende que cada serie tenga una combinación única de **elementos del sitio y características morfológicas que pueden ser evaluadas para la mayor parte en el campo**”.

“Una vez que una serie ha sido definida y mapeada de acuerdo a sus características de diferenciación, **muchas propiedades accesorias de importancia práctica pueden ser predecida**”.

Note que el énfasis es sobre una **unidad de campo reconocible** que puede servir como una carrera de **información** para las **interpretaciones**.

De acuerdo al Glosario de la Sociedad de la Ciencia del Suelo de América [1]:

“**Serie de suelo**: la **categoría mas baja en el sistema taxonómico**; una clase conceptualizada de cuerpos de suelo (polypedones) que tienen límites y rangos **más restrictivos que todas las taxas superiores**. Las series de suelo son comúnmente usadas para nombrar polypedones dominantes o co-dominantes representados en mapas de suelos. **Las series de suelo sirven como el vehículo principal para transferir información de suelos y datos de investigación de un área a otra**”.

Nuevamente, el énfasis es en la **transferencia de tecnología**. Frases específicas acerca del uso y manejo pueden ser hechas, Pero existe una diferencia principal entre las definiciones de Dent & Young y el SSSA: la primera es de abajo-arriba y al segunda es de arriba-abajo, es decir, **de acuerdo a USDA las Series son parte de la Taxonomía de Suelos**.

Este concepto de Series es ampliado en el Soil Survey Manual [48]:

“La categoría de series de suelos es la categoría más homogénea en la taxonomía utilizada en USA. Como clase, una serie es un grupo de suelos o polypedones que tienen horizontes similares en el arreglo y diferenciación de características. Los suelos de una serie tienen un relativo rango estrecho en el conjunto de propiedades. La superficie superficial y elementos como la pendiente, pedregosidad, grado de erosión y posición topográfica pueden variar al menos que estos factores estén asociados con diferencias significantes en el arreglo de horizontes.

Las series de suelo están **diferenciadas en todas las diferencias de las categorías altas, más características adicionales y significantes en la sección de control de la serie**. Algunas de las características comúnmente utilizadas para diferenciar las series son el tipo, espesor y arreglo de horizontes y su estructura, color, textura, reacción, consistencia, contenido de carbonatos y otras sales, contenido de humus, contenido de fragmentos rocoso y composición mineralógica. Una diferencia significativa en cualquiera de ellas puede ser la base para el reconocimiento de series diferentes. Raramente sin embargo, dos series de suelo difieren simplemente en una de estas características. La mayoría de características están relacionadas y generalmente los cambios se dan en conjunto”.

Note la insistencia de que las Series son el nivel categórico más bajo de la Taxonomía de Suelos. Muchos autores y especialmente mapeadores criticaron esta situación por ser irrealista. También note, la exclusión explícita en la definición de propiedades importantes como (capa superficial, pendiente, pedregosidad); estas son incluidas en el concepto de Fase (vea abajo).

4.3.1 La taxa adjunta (taxadjunct)

Nota: Esta sección se aplica solo a la Taxonomía de Suelos

El concepto de “**taxadjunta**” se aplica solo a las **series de suelo**, definida como el nivel categórico más bajo de la Taxonomía de Suelos. De otro modo que el concepto no tenga significado debido a que niveles más altos dentro del ST pueden clasificar todos los pedones, mientras que pueden haber pedones que no encajen en la definición de una serie establecida.

Para lidiar con la insistencia de las series como parte del ST, los americanos fueron forzados a inventar la llamada **taxadjunta**, la cual es definida por el SSM como sigue:

“Taxadjunta son polypedones (o pedones) que tienen propiedades fuera del rango de cualquier serie reconocida y también están fuera de los límites de clase de categorías altas por una o más característica diferenciadora de las series. Las diferencias en propiedades son pequeñas por tanto las principales interpretaciones no son afectadas. El nombre que se da a una taxadjunta viene de una serie establecida que es muy similar en sus características. Es adyacente a, pero no parte de, las series nombradas. Es tratada como si fuese miembro de la serie nombrada y sus interpretaciones son similares a aquellas para fases comparables de las series en la cual es nombrada.”

Para repetir los puntos cruciales:

1. Un pedon taxadjunta esta fuera de los límites de una serie por una o más criterios diagnóstico listados en la descripción oficial de series. Esto es muy común debido a....

2. Un pedon taxadjunta esta fuera de los límites de algún nivel más alto en la Taxonomía de Suelos (Orden, Sub-orden,...familia) por uno o más criterios diagnóstico; sin embargo,
3. La naturaleza y arreglo de horizontes es similar; en particular el pedon taxadjunto comparte un límite diagnóstico con la serie a algún nivel más alto en taxonomía.
4. Las relaciones de paisaje y otros factores genéticos son similares
5. Las interpretaciones son idénticas

Note que la frase “fuera de los límites de una categoría más alta..”, esta implica que un pedon en la misma familia como una serie establecida no puede ser una taxadjunta. ¿Que hacer en este caso? De acuerdo al National Soil Survey Handbook [47]:

“Si un suelo es correlacionado y tiene propiedades que son casi fuera del rango oficial de la serie pero se encuentra en la misma familia, este no se reconoce como taxadjunta. En este caso, una o dos acciones deben ser tomadas:

- (1) el rango de las series oficiales es ampliado para incluir el suelo como correlacionado, o
- (2) se añade una frase al final del memorando de correlación para explicar como el suelo difiere de las series oficiales y porque estas no fueron revisadas para incluir la propiedad aberrante o propiedades”.

Ejemplo:

Características diferenciadoras incluso al nivel de orden pueden causar taxadjunta. Considere un pedon que calificara como fine, mixed, thermic Typic Hapludult (Series Cullen) excepto por la saturación de bases en el horizonte argílico que es levemente $\geq 35\%$. Entonces este pedon califica como un fine, mixed, thermic Ultic Hapludalf (Series Mecklenburg) (Sub-grupo Ultic: debe tener 35-60% de saturación de bases; estos son usados para Alfisols con una saturación de bases $< 60\%$, es decir transicional a Ultisols). Si las series (en este caso Cullen) es definida con un rango de saturación de bases de 25-35% (un Ultisol con margen a Alfisol), los pedones en el rango 35-40% pueden ser definidos como una taxadjunta a estas series. O, si las series Mecklenburg es restringida al rango de saturación de bases de 35-45% (un Alfisol transicional a Ultisol), los pedones que de otro modo calificarían como Cullen, pueden ser considerados como taxadjunta a las series Mecklenburg. En la situación presente, ambas series han sido definidas, de esa forma son consideradas “similares”, no “taxadjuntas”.

Lo que esta pasando aquí es que las **series naturales han sido forzadas dentro un rango muy pequeño por las categorías más altas de la Taxonomía de Suelos**. La taxadjunta actua como las Series, aparenta como las Series....pero no cae dentro las series debido a la estructura de la ST.

De hecho, las series “naturales” muchas veces tienen un rango medianamente angosto de variación, el cual no respeta los límites de la Taxonomía de Suelos (nivel de familia o más alto). En el ejemplo anterior: el rango natural de las series Cullen pudo ser 25-40% en la saturación de bases y el concepto central puede ser correlacionado a la familia con la típica interpretación, en este caso Typic Hapludult.

Esto también “resuelve” el problema de suelos en zonas de transición entre regímenes de temperatura y humedad. Series en una familia Thermic pueden tener taxadjuntas en familias Mesic, tanto el suelo es nuevamente similar y la temperatura del suelo es bordeando a mesic.

En la práctica, el correlacionador clasifica el **concepto central** (tipificando un pedon, sea representativo o sintético) de las series “naturales”, escribe la descripción de la serie para incluir la mayor variación que emparejara en la ST y entonces el resto de la variación será taxadjunta.

Ahora, cuando una serie del ST (o una de sus fases) es usada en el nombre de una unidad de mapeo, podemos considerar los pedones de una taxadjunta como si ellos fueran parte de las series, para propósitos de cálculo de la pureza requerida (por ej. $\geq 50\%$ de una consociación en el taxón nombrado). Este simplemente repara el daño causado al concepto original del mapeo de series por la insistencia de que las series son el nivel más bajo de la Taxonomía de Suelos.

4.3.2 Cuatro puntos de vista de las series de suelo

Los siguientes puntos de vista de las series de suelo, en la práctica convergen a definiciones similares.

Una entidad natural resultado de un conjunto único de circunstancias

Aunque el suelo es un continuo, no todas las combinaciones de características son encontradas. Al contrario, un conjunto único de factores formadores del suelo resultan en un suelo con las mismas características dentro de alguna tolerancia. Es imposible discutir cada punto separadamente, por tanto las agrupamos dentro clases “naturales” de quienes sus límites están determinados por los procesos formadores del suelo.

Esta es realmente una **hipótesis clave** del levantamiento de suelos; las series de suelo es la expresión más detallada de esta hipótesis. El reto en la clasificación y mapeo de suelos a nivel de detalle es encontrar estas series “naturales”, describirlas y mapearlas.

Una entidad cartográfica natural a escalas detalladas

Si la hipótesis es correcta y adicionalmente los factores formadores del suelo tengan alguna coherencia espacial (auto-correlación), esperamos que los suelos adyacentes sean similares. Así, todos los pedones en un polypedon local tendrán características dentro un rango estrecho; este es el **mapeo de series**.

La unidad básica de transferencia de información

La razón práctica del porque las series de suelo son muy importantes, es porque ellas corresponden a la clasificación más fina que es generalmente útil para agrupar experiencias. También porque forman polígonos naturales como se vio en el punto de vista anterior.

Las series son llamadas el básico transportador de información.

La categoría más baja en el sistema de clasificación

En un sistema jerárquico de clasificación de suelos, es el nivel más fino que puede ser prácticamente definido. Vea su definición en la Taxonomía de Suelos.

4.3.3 Información acerca de las series de suelo

Una Serie es caracterizada por información específica.

Información general:

Primero, existe una definición general acerca del de series: material parental, posición fisiográfica, principales factores formadores del suelo y límites generales de propiedades importantes. Por ejemplo, de la descripción oficial de las Series Norfolk:

“Las series Norfolk consisten en suelos muy profundos, bien drenados y moderadamente permeables que fueron formados en sedimentos marinos francos de Planicies Costeras. Estos suelos tienen pendientes que van desde 0 a 10%. La temperatura media anual cerca al sitio es de 16°C y la precipitación media anual es de aproximadamente de 1250 mm”.

Clasificación taxonómica

Por tanto, su clasificación en un sistema estandar (Taxonomía de Suelos) es:

“CLASE TAXONÓMICA: Fine-loamv. kaolinitic. thermic Typic Kandiodults”

Note que todos los pedones clasificados en las Series Norfolk, se supone que deben pertenecer a esta familia. En la práctica, muchos pedones mapeados con Norfolk y algunos similares a el, pertenecerán a otra familia taxonómica; por tanto estas son Norfolk Taxadjuntos.

Concepto central: el perfil modal o representativo

Las series deben tener un concepto central del pedon “típico o representativo”; este es utilizado por el levantador y usuario de la tierra para reducir la complejidad. Muchos modeladores utilizan este concepto central para representar el área total mapeada. Y si creemos que combinaciones específicas de factores formadores del suelo nos llevan a propiedades específicas del suelo y que ciertas combinaciones de estos factores son “típicos” en un paisaje específico, de ahí creemos en el resultado “típico”.

Así, esto representa el ideal Platónico de Series: el individuo “típico o representativo”. Este es como cualquier individuo “típico”: ¡puede no existir!. Por ejemplo, tenemos la idea de un “típico hombre inca”, en realidad es difícil generalizar esa semejanza, pero al menos tenemos un ideal representativo de esa población.

El “perfil modal” puede ser **sintético**, es decir combina observaciones actuales de acuerdo a la experiencia del levantador y la información de las series en la base de

datos. Fue hecho para proveer conjuntos de datos para modelamiento regional, por ejemplo el modelo de erosión-productividad EPIC [58] utilizado en USA.

Pero, en algunas descripciones, un perfil representativo llamado pedon tipificador, es seleccionado para representar las series. Presumiblemente este fue seleccionado por correlacionadores de experiencia como un buen ejemplo de las series. Esto fue hecho para las series Norfolk:

PEDON TIPICO: Norfolk loamy sand-cultivado. (los colores son en estado húmedo)

Ap--0 a 23 cm; grayish brown (10YR 5/2) areno francoso; estructura granular débil fina y media; muy friable; raíces finas y medias; material de coloración oscura en viejos canales radiculares; fuertemente ácido; límite claro (7.5 a 25 cm de espesor).

E--23 a 36 cm; light yellowish brown (10YR 6/4) areno francoso; estructura granular débil media; muy friable; pocas raíces finas y medias; material de coloración oscura en viejos canales radiculares; fuertemente ácido; límite claro (0-25 cm de espesor).

Bt1--36 a 43 cm; yellowish brown (10YR 5/6) Franco arenoso; estructura débil de bloques subangulares medianos; friable; pocas raíces finas y medias; fuertemente ácido; límite claro.

Bt2--43 a 97 cm; yellowish brown (10YR 5/6); franco arcillo arenoso; estructura débil de bloques subangulares medianos; friable; muchos poros finos y medianos; pocas laminas de arcilla; fuertemente ácido; límite gradual.

Bt3—97 a 147 cm; yellowish brown (10YR 5/6); franco arcillo arenoso; pocas masas de acumulación de hierro (strong brown, pale brown and yellowish red); estructura débil de bloques subangulares medianos; friable; pocas laminas de arcilla; fuertemente ácido; límite gradual.

Bt4—147 a 178 cm; yellowish brown (10YR 5/6); franco arcillo arenoso; acumulación común de masas suaves de hierro (5YR 5/8) y depleciones de hierro (10YR 6/2); estructura débil de bloques subangulares medianos; friable; pocos nódulos firmes de plintita roja y amarilla; fuertemente ácido; límite gradual.

BC—178 a 208 cm; moteados (10YR 6/6), strong brown (7.5YR 5/6), yellowish red (5YR 5/6) franco arcillo-arenoso; estructura débil de bloques subangulares medianos; friable; aproximadamente 5% firme de nódulos de plintita; fuertemente ácido; límite gradual.

C—208 a 254 cm; moteados rojos (2.5YR 4/8), strong brown (7.5YR 5/8), brownish yellow (10YR 6/8) y gray (10YR 5/1) franco arcillo-arenoso; estructura masiva; friable; fuertemente ácido.

UBICACIÓN: Condado Robeson, North Carolina;

Rango de propiedades

Claramente, los varios pedones de las series no son idénticos. Por tanto, la serie es definida con su rango permitido de propiedades diagnósticas. Por ejemplo, de la Norfolk OSD:

“El espesor del Solum es mayor a 150 cm. Pocas a cerca de 5% de pequeñas piedrecillas silíceas redondeadas se encuentran en la superficie y dentro el perfil de algunos pedones. Pocas piedrecillas redondeadas de tamaño fino y medio están presentes en algunos pedones. La reacción es fuertemente a extremadamente ácida, excepto donde hay encalado. Moteados asociados a la humedad estacional, el rango es entre 120 a 180 cm debajo de la superficie.”

El horizonte A o Ap tiene un hue de 10YR o 2.5Y, el value de 4 a 7 y el chroma de 1 a 4. La textura es areno-francosa, franco arenosa, franco arenosa fina y en proporciones menores arenosa.

El horizonte E tiene un hue de 10YR o 2.5Y, value de 4 a 7 y chroma de 2 a 6. La textura comúnmente es areno-francosa, franco arenosa, franco arenosa fina y en proporciones menores arenosa.

El horizonte Bt tiene un hue de 7.5YR a 2.5Y, value de 5 a 8 y chroma de 3 a 8. La textura es principalmente franco arcillo-arenosa pero incluye franco arenosa, franco arenosa fina o franco arcillosa. En algunos pedones, el horizonte Bt debajo de 100 cm incluye cpas de con texturas arcillosas y arenas. El Bt inferior es comúnmente moteado. Depleciones de hierro que tienen un chroma de 2 o menos están a profundidades de 4 a 6 pies.

EL horizonte BC, cuando se presente, tiene un hue de 5YR a 2.5 Y, vlaue de 4 a 7 y chroma de 1 a 8 o tiene motes con estos colores. La textura es franco arenosa, franco arenosa fina, franco arcillo-arenosa, franco arcillosa arcillo-arenosa y arcillosa. En algunos pedones, este horizonte contiene nódulos de plintita, pero ninguno tiene hasta los 150 cm mas de 5%.

El horizonte C, si se presenta, tiene un hue de 2.5YR a 5Y, value de 4 a 8 y chroma de 1 a 8 o motes con estos colores. La textura es comúnmente arenosa, pero en algunos pedones puede ser arcillosa.

Estos límites definen el rango de las series. De acuerdo con ST, todos ellos deben ajustarse dentro esos límites de las series, familias y niveles taxonómicos más altos. Adicionalmente, **todos los límites definidos por niveles más altos deben ser respetados**. Por ejemplo, al horizonte Bt en la serie Norfolk se le permite tener una textura arcillosa o arcillo-arenosa en la parte inferior; esta no se encuentra en la sección de control y así no cambia la familia fine-loamy en la clase de tamaño de partículas. Así mismo, la saturación de bases es <35% (porque es un Ultisol), aunque esto no es mencionado explícitamente en el rango de propiedades.

En el “mapeo de series” (como una oposición a series taxonómicas), es permitido tener rangos de propiedades que crucen límites establecidos a niveles más altos, a menos que el rango total de las propiedades no sea muy amplio y dificulte la interpretación.

La controversia entre mapeo vs. series taxonómicas es muy clara en esta sección de descripción de series.

Series “competidoras” y “asociadas”

Una serie de competencia esta en la misma familia o cercana a familias relacionadas, la cual “compite” por los pedones que actualmente estan clasificados en la serie nombrada. Las diferencias son relativamente menores, pero fueron considerados suficientemente importantes para establecer nuevas series. En el pasado, muchas de estas habrían sido agrupadas en series simples.

Por ejemplo, para la serie Norfolk:

SERIES EN COMPETENCIA: Estas son las series Orangeburg en la **misma familia** y las series Addielou, Allen, Avilla, Bama, Etowah, Holston, Leesburg, Minvale, Nella, Noboco, Octavia, Pikeville, Ruston y Smithdale en **familias cercanamente relacionadas**. Los suelos Bonneau y Addielou estan en un **sub-grupo arenic**. Los suelos Allen, Bama, Etowah, Nella, Orangeburg y Ruston tienen **todos o parte de los horizontes Bt con hue 5YR o mas rojo**. Los suelos Avilla, Holston, Leesburg, Minvale y Pikeville tiene **fragmentos gruesos que exceden el 10%** en todo o parte del solum. Suelos Noboco **tienen moteados de chroma bajo aociados con humedad a profundidades de 75 a 120 cm**. Suelos Octavia tienen **más de 35% de arcilla en el horizonte Bt inferior** ”

Note que cada serie compitente es casi siempre similar y así comparte una o mas límites de clas con l serie nombrada. Usualmente estas son muy similares y estan separadas en pocas características menores. En el presente ejemplo, estas son de color rojo, tienen pocos fragmentos gruesos, presencia de moteados en la profundidad del perfil y un incremento de arcilla en la profundidad. En la mayoría de casos (y en todos los casos de este ejemplo), las series compitentes serán aceptadas como **inclusiones similares** en consociaciones de las series nombradas. Sin embargo, muchas de las series compitentes no ocurren en los mismos paisajes como las series descritas.

Las series asociadas se encuentran en el mismo suelo-paisaje. Algunos de estos pueden ser series compitentes, pero la mayoría no lo será debido a diferencias importantes en las propiedades a través del paisaje local. Por ejemplo, de la Serie Norfolk:

SUELOS GEOGRÁFICAMENTE ASOCIADOS: Adicionalmente a las series compitentes Bonneau, Noboco y Orangeburg, estas incluyen las series Aycock, Butters, Caroline, Craven, Duplin, Exum, Faceville, Forestone, Goldsboro, Marlboro, Lakeland, Lynchburg, Rains y Pantego. Los suelos Aycock y Exum tienen una **clase de tamaño de partículas fine-silty**. Suelos Butters y Foreston tienen una clase de **tamaño de partículas coarse-loamy**. Suelos Caroline, Carven, Faceville y Marlboro tienen una **clase de tamaño de partículas clayey**. Adicionalmente, suelos Caroline y Craven tienen una **mineralogía mixta** y los suelos Faceville y Marlboro tienen una mineralogía **kaolinitic**. Los suelos moderadamente bien drenado Goldsboro, algo pobremente drenado Lynchburg, pobremente drenado Rains y el muy pobremente drenado Pantego se encuentran en el mismo paisaje como los suelos Norfolk pero en **posiciones inferiores del paisaje**. Los suelos Lakeland tienen **texturas arenosas que exceden 2 metros**.

Algunas de las series asociadas serán similares, porque ellas comparten un límite de clase, como ejemplo Goldsboro. Otros son disimilares, como Lynchburg. Todos ellos pueden ser encontrados en el mismo suelo-paisaje (soilscape) local con la serie nombrada. En muchos casos (excepto por las series compitentes que también son geográficamente asociadas), las series asociadas serán consideradas inclusiones disimilares en consociaciones de las series nombradas. Pero, alguna de las series asociadas, otra que no sea una serie compitente, puede ser considerada inclusión similar.

4.3.4 *Definiendo una Serie de Suelo*

Las series no deben ser establecidas sin una evidencia sólida así como una buena razón. Aquí encontramos la diferencia clásica encontrada en todos los sistemas de clasificación, entre aquellos edafólogos que prefieren tener grupos grandes en tanto las diferencias no sean muy grandes (los lumpers) y aquellos quienes quieren mostrar pequeñas diferencias (los splitters).

Los “lumpers” corren el riesgo de no mostrar diferencias importantes; los “splitters” corren el riesgo de (1) mostrar diferencias insignificativas que simplemente confunden al cliente y (2) mostrar diferencias aparentes que de hecho no son reales, simplemente artefactos (artifacts) de insuficiente muestreo y correlación.

¿Cuándo se justifica la creación de una serie nueva?

Una nueva serie puede ser considerada cuando:

1. Existen suelos con **propiedades significativamente diferentes** en sus con relación a una serie existente u otro suelo en la misma serie; y
2. Estos suelos ocupan un **área significativa** que es **geográficamente coherente**, y
3. Estos suelos pueden ser **consistentemente separados** de otros suelos

Los “lumpers” añaden otro criterio:

4. Estos suelos se **comportan de manera diferente** (para uno o más **usos de la tierra importantes o funciones del paisaje**) que las series existentes (o la otra parte de la serie existente que será dividida).

(1) Propiedades diferentes

Tiene dos casos:

- (a) los suelos no entran en los rangos de una serie establecida, o
- (b) los suelos ocupan solo una parte del rango, pero son consistentemente diferentes de otro suelos en otras partes del rango

El caso (a) son verdaderamente series nuevas, no derivadas de otras series existentes. Ellas son requeridas si un límite del ST es rebasado (si la serie es definida en el ST). También son requeridas si los suelos encontrados fueron previamente no mapeados y que no pueden ser asignados a una serie existente, debido a las diferencias significativas.

Por ejemplo, en el levantamiento del condado Edgecombe, areas grandes de mixed, thermic Typic Udipsamments fueron encontrados en las terrazas del rio Tar, como relictos de bancos de arena. Los suelos eran morfológicamente similares a siliceous, thermic, Typic Udipsamments (Lakeland) con minerales menos intemperizados, los cuales ocurren en terrazas de una planicie costera (no aluvial). Antes del ST, estos suelos pudieron ser clasificados con Lakeland, pero debido a sus minerales intemperizables, ellos se encuentran en una familia de mineralogía mixta

y así debe estar en otra serie. Sin embargo, incluso sin los límites del ST, es una buena decisión crear nuevas series, ya que los minerales intemperizables hacen una contribución significativa a la vegetación nativa y pasturas, incluso en ese tipo de suelo. La nueva serie Tarboro fue establecida para estos suelos.

En el caso (b) son series “derivadas”, la cual divide una serie existente en dos. Ocurren porque el correlacionador decide que son “suficientemente diferentes” y “suficientemente grandes” para requerir la creación de una nueva serie.

En el ejemplo de la serie Tarboro, estos suelos habrían sido mapeados con los suelos Buncome en la misma familia. Sin embargo, los suelos Buncombe tienen horizontes C que típicamente tienen texturas francas por debajo de 1 m en el perfil y se encuentran en planicies de inundación; los suelos Tarboro no son inundables y no tienen texturas francas a cualquier profundidad. Estas son importantes diferencias que afectan las interpretaciones, por tanto una nueva serie se justifica.

(2) Extensión geográfica significativa

Primero, debe existir polypedones más grandes al Área Mínima Legible (MLA) de la serie propuesta a una escala de mapeo típica y no simplemente pedones aislados o polypedones pequeños, por ejemplo: “islas” de Udipsamments en una unidad de mapeo de fine-loamy, mixed, semiactive, thermic Typic Hapludults (Serie State).

Segundo, debe haber un **area total** suficiente con la nueva serie propuesta, de otra forma el esfuerzo no tiene valor para establecer una serie nueva. Si este criterio no se cumple, los suelos serán llamados **variantes** de la serie existente si cumplen los requisitos de la familia, de lo contrario serán **taxadjunta**.

(3) Consistentemente mapeable

Aún si los polypedones mayores al MLA son mostrados para existir a través de estudios en campo, la nueva serie debe ser mapeable por métodos comunes incluyendo campo.

Por ejemplo, si las áreas propuestas en la serie Tarboro ocurren en el mismo paisaje con la serie Uncombe, será difícil separar ambos en base de su diferencia principal, es decir el perfil franco profundo vs. el perfil consistente arenoso de Tarboro. Un patrón denso de muestreos serán necesarios. Sin embargo, de hecho los suelos Buncombe usualmente ocurren en planicies de inundación activas, mientras que los suelos Tarboro ocurren en terrazas bajas que no son inundables, esto es fácil de mapear.

Procedimientos administrativos

Una serie es usualmente propuesta por el líder del mapeo investigativo, pero algunas veces durante la rutina de mapeo cuando la extensión geográfica de las series propuestas llegan a ser claras.

Por tanto el correlacionador regional evalúa la evidencia presentada por el líder del levantamiento para asegurarse que la serie cumple con los requisitos especificados anteriormente.

Finalmente, la serie es **establecida** e incluida a la leyenda de la clasificación maestra del área geográfica.

4.4 Fases

En cualquier sistema de clasificación, existirán características edafológicas que no están consideradas en ningún nivel. Así mismo, en cualquier área a ser mapeada existirán características no-edafológicas que son importantes para el uso de la tierra y que pueden ser mapeadas con los mismos métodos y al mismo tiempo como la pureza que tienen algunas propiedades de los suelos. Estas son las dos motivaciones para el concepto de **fases (phases)** de cualquier taxón más alto.

De acuerdo a Avery [2]:

“Las **fases** son **grupos funcionales** utilizados en conjunción con la clasificación formal del suelo para **incrementar la utilidad** de levantamientos de suelo particulares. Pueden ser diferenciadas por **cualquier atributo del suelo o de la tierra o una combinación de atributos significantes al uso de la tierra o su comportamiento**. Cualquier valor de una propiedad puede ser seleccionado como la base para la división (en fases), la selección de propiedades y límites son determinados por los objetivos y por cuan consistente los criterios pueden ser aplicados”

La USDA lo define de manera diferente [48]:

“Si una propiedad de un taxón tiene un rango muy amplio para las interpretaciones requeridas o si algún elemento fuera del mismo suelo es significativo para el uso y manejo, estas son las bases para definir fases. Las fases pueden estar basadas en atributos como riesgo a helada, característica del sustrato o la posición fisiográfica que no son características usadas para identificar la taxa, pero no obstante, afecta al uso y manejo. Si estas varían de un lugar a otro dentro de un área de levantamiento, las fases pueden ser definidas para acomodar las diferencias.”

Recuerde que en la definición de series de suelo de la USDA, se dice:

“La información de las componentes del sitio (elementos superficiales) como la pendiente, grado de erosión y posición topográfica puede variar a menos que estos factores estén asociados con diferencias significativas en el arreglo de horizontes”.

Estos elementos fueron explícitamente excluidos de todos los niveles categóricos por los diseñadores de la Taxonomía de Suelos. Por tanto, si ellos son importantes con fines de interpretación (obviamente ellos son), ellas deben ser mapeadas, así debemos definir un nuevo concepto para mapearlos; esta es la fase.

Podemos identificar cuatro tipos de fases:

1. **Las características del suelo de la capa superficial** que han sido explícitamente excluidas de la Taxonomía de Suelos o sistemas de clasificación local (Nota histórica: estas suelen llamarse el “tipo de suelo” en USA).
Ejemplo: textura, fragmentos rocosos, cantidad de erosión. Un buen ejemplo es la pedregosidad: el número, tamaño, tipo y patrón pueden tener una gran influencia en el riesgo a la erosión, laboreo, etc.

2. **Características internas del suelo no incluidas en la definición de serie de suelo**, porque estas son más profundas que la sección de control de la serie (en general, 150 cm debajo de la superficie del suelo, o 200 cm si es un horizonte diagnóstico o 25 cm dentro un contacto lítico o paralítico), deben ser tomados en cuenta dentro de una fase. Estas son fases subestrato.
3. Para mapas de mayor nivel categórico que las series de suelo, **cualquier característica interna del suelo que no es usada en niveles más altos de la Taxonomía**. Muchas de estas pueden ser utilizadas para definir Series.

Ejemplo: “Typic Ustorthents, fine-loamy, mixed, mesic, subactive; moderadamente profundos para suelos que están entre 50 y 100 cm a la capa que limita el enraizamiento. El subgrupo “Lithic” está definido por suelos <50cm; para suelos más profundos no existe diferencia en la clasificación a nivel de familia. Un serie será establecida en levantamientos a detalle.

La convención para escribir una fase es después de una;

4. **Características no edafológicas**. Los levantadores de suelo mapean estas porque ellos las ven en el campo e infieren su importancia para el uso de la tierra o su comportamiento. En muchos casos el levantador de suelos es la única persona quien mapea las características permanentes de la tierra, no simplemente el suelo, pero también la fisiografía, etc.

Ejemplo: la pendiente en el sitio, posición fisiográfica (ej. el nivel de la terraza para inferir el riesgo de inundación).

Las fases están definidas en base al uso de la tierra (por ej. interpretaciones):

“la justificación para la mayoría de fases es el comportamiento de los suelos bajo un uso. Al menos una frase acerca del comportamiento del suelo debe ser única para cada fase de un taxón y las diferencias de las propiedades del suelo deben exceder errores normales de observación”. [48]

La última oración quiere decir que **la fase debe ser mapeable**. Por ejemplo, probablemente no debemos definir fases de pedregosidad de 0-1%, 1-2%, 2-3%, etc., porque la variación de la pedregosidad en el campo es casi seguro mayor que 1% en cualquier área mapeable.

En resumen, tenemos que cumplir tres criterios para definir una fase:

1. Importante para uno o más usos de la tierra o comportamiento interno del suelo
2. Consistentemente mapeable
3. **No incluida** (al menos, al nivel de detalle deseado) **en la definición de cualquier taxa superior**.

Nota histórica: En USA, donde se originó el concepto, las fases fueron introducidas principalmente para permitir interpretaciones más confiables del riesgo de erosión para planes de conservación al nivel de finca. Casi todos los levantamientos incluyen: textura superficial, pendiente, fragmentos gruesos y fases actuales de erosión.

Nombres de las fases

La fase es nombrada después del nombre de la serie, como por ejemplo “Marlboro sandy loam, 2 a 6% de pendientes, erodado”. Aquí “Marlboro” es el nombre de la serie. Si una fase de textura superficial no es dada, la unidad de mapeo es nombrada como “Suelos Marlboro”.

A cualquier nivel categórico un nombre de fase puede ser dado, por ejemplo: “Udifluents, frecuentemente inundado”.

A cualquier tipo de unidad de mapeo puede ser asignado un nombre de fase. El nombre de fase puede aplicarse a la unidad de mapeo completa, por ejemplo, “Norfolk-Goldsboro fine sandy loams, 0-3%”. O, componentes individuales en una asociación pueden ser nombres de fase; estos son los nombres que han sido dados a componentes individuales a una escala grande. Ejemplo: “Asociación Tarboro sand, 3-8% - Portsmouth sandy clay loam, 0-3%”

Tipos de fases

Aquí algunos ejemplos de fases. Recuerde que otros pueden ser identificados de acuerdo a condiciones locales. Vea el SSM, capítulo 2 para una descripción detallada.

1. La textura de la capa superficial incluyendo capas deposicionales delgadas. Esta es casi siempre indicada en el nombre de la unidad de mapeo.
Nota histórica: el “tipo” de suelo fue una subdivisión de las series de suelo de acuerdo a la textura superficial. Esto ya no es más utilizado en el SSM. En su lugar, muchos “tipos” ahora corresponden a series diferentes, debido a que las diferencias de la textura superficial corresponden a otras diferencias (por ej, familia de clase de tamaño de partículas) la cual es utilizada para definir las series. Otros “tipos” son ahora las fases.
2. Recientes depósitos superficiales que fueron ignorados en la definición de series: hummocky, sobrelavados, etc.
3. Fragmentos rocosos: número, cantidad, tipo y patrón. Ejemplo de cantidad, para el tamaño “gravel”: non-gravelly, gravelly (interfiere con el labrado de la tierra), very gravelly (la calidad del labrado es afectada), extremadamente gravelly (labrado es imposible).
4. Pedregosidad
5. Fragmentos rocosos en la superficie: proporción, patrón, tipo
6. Profundidad del suelo
7. Movimiento del agua en el suelo
8. Pendiente: grado y forma

9. Salinidad; sodicidad; otras características químicas no incluidas en la definición de serie.
10. Posición fisiográfica
11. Erosión actual: cantidad & tipo; grado
12. Espesor de los horizontes del suelo (dentro de los límites de la serie)
13. Clima externo
14. Riesgo a inundación
15. Grado de explotación o alteración (suelos orgánicos, drenados)

Algunos de estos no son claramente característicos de los suelos, al contrario, pertenecen a un levantamiento geomorfológico (por ej, riesgo a inundación); por razones prácticas el levantador de suelos puede ser consultado para mapear estas características y ciertamente ellos afectan la interpretación.

Algunos de estos son únicos a la Taxonomía de Suelos porque explícitamente excluyen ciertas propiedades internas del suelo de sus criterios diagnóstico.

4.5 El patrón del suelo dentro las delineaciones

Dentro de las delineaciones de las unidades de mapeo de un mapa tipo area-clase, si existen suelos diferentes a algún nivel taxonómico o fases diferentes, ellas couren en patrones espaciales diferentes. Esto puede ser muy significativo al usuario del mapa, especialmente en mapas de dos etapas.

Esta sección da algunas posibilidades.

1. Homogéneos

Solo un suelo en la delineación (dentro el rango del taxón); no inclusiones. Este es realístico simplemente en mapas de familias que son, cartográficamente detallados, categóricamente general, mapas a escala 1:10000.

Este puede ser dividido por tipos de límites al tipo de suelo adyacente: abrupto vs. transicional.

2. Inter-mixto con patrón no discernible incluso a gran escala (al azar)

También llamado “parche regular” o más informalmente, “queso suizo”. Los componentes están intrínicamente asociados. Este es el patrón más común. El tamaño de un parche típico debe ser establecido.

3. Regular cíclico

Los suelos siguen un patrón cíclico con una dimensión característica. Ejemplos clásicos son los microrelieves que forman los Vertisoles.

4. Regular no-cíclico

Los componentes están regularmente asociados, por ejemplo, en una catena de serranía. Da la escala linear de la asociación. Este es el caso usual en mas de dos etapas de asociaciones de suelos.

4.6 Nomenclatura de las unidades de mapeo

La leyenda del mapa de suelos y el reporte del levantamiento de suelos debe dar nombres a todas las unidades de mapeo. Para cada categoría, el nombre debe mostrar:

1. el **suelo o los suelos principales en la unidad**, al nivel categórico apropiado
2. el **nivel categórico**
 - 2.1. series de suelos, utilizando su nombre local
 - 2.2. niveles altosde un sistema de clasificación jerárquico (Ej. Taxonomía y WRB).
3. **fases** a cualquier nivel categórico y cualquier tipo de unidad
4. el **tipo de unidad de mapeo**
 - 4.1 consociación
 - 4.2 grupo indiferenciado
 - 4.3 asociación
 - 4.4 complejo
 - 4.5 suelos no asociados

Algunas reglas para nombrar las unidades de mapeo; ver [53] para detalles:

1. “consociación” es entendida y no requiere ser explícitamente nombrada
2. “grupo indiferenciado” y “suelos no asociados” no son nombrados como tal, pero son inmersos por uso de las conjunciones “y” y “o”, respectivamente.
3. En todos los tipos de unidad de mapeo excepto las consociaciones, la conjunción correcta debe ser utilizada para separar los nombres de suelo:
 - 3.1 consociación (ninguno)
 - 3.2 grupo indiferenciado (y)
 - 3.3 asociación -
 - 3.4 complejo -
 - 3.5 suelos no asociados (o)
4. La designación de fases sigue los nombres de componentes individuales o se puede aplicar a la unidad de mapeo completa. La textura superficial siempre viene primero, después una coma luego otra designación de fase. Si no se

utiliza la textura superficial, la palabra “suelos” es substituida al nivel de serie. A niveles altos, la letra “s” es añadida a las clases taxonómicas.

Fases de taxa a nivel más alto que la familia puede incluir todos o parte de los modificadores de familia como modificadores de fase. Po ejemplo, “Udults, thermic”.

Ejemplos (Taxonomía de Suelos)

Una consociación a nivel de fase de series: “Norfolk loamy sand, 2 a 6% de pendiente, erodado”

Lo mismo, pero sin fase: “Suelos Norfolk”

Una consociación al nivel de fase de familia: “Fine-loamy, kaolinitic, thermic Typic Kandiudults, 2-6% de pendiente, erodado”.

Lo mismo, pero sin fase: “Fine-loamy, kaolinitic, thermic Typic Kandiudults”

Una consociación a un nivel taxonómico más alto: “Typic Kandiudults”

Lo mismo más una fase tomada del nombre de la familia: “Typic Kandiudults, fine-loamy”

Una asociación de fases de series: “Asociación Marlboro sandy loam, erodada – Duplin sandy loam”.

Una asociación de fases de clases taxonómicas más altas: “Typic Udipsamments – Typic Umbraquults association, thermic”.

Un grupo indiferenciado al nivel de fase: “Norfolk, Aycok y Marlboro soils, 15-25% de pendiente”.

Un grupo indiferenciado a un nivel taxonómico más alto: “Typic Udipsamments y Arenic Hapludults”.

Ejemplos (WRB)

Una consociación al nivel de fase en el segundo nivel de grupo: “Chromi-Vertic Luvisols, superficial”.

4.7 Estimando la composición de una unidad de mapeo

La pregunta final en este capítulo es: **¿Cómo determinamos la composición de la unidad de mapeo?** Habíamos estado hablando felices acerca de 20% de inclusiones, 50% de suelos nombrados, etc. ¿De donde vienen esos números?

En el siguiente análisis, cuando se mencione “medir el área”, la forma más fácil de hacerlo es mediante la digitalización y medición de áreas en un programa con enfoque SIG.

Note que estimando la composición de las unidades de mapeo con respecto a la leyenda de mapeo es diferente que la estimación de su composición, con respecto a la propiedad del suelo específica (por ej. profundidad del suelo, contenido de sales, etc.). Vea [15] para una buena introducción posteriormente.

Referencias: [52] nos da una buena introducción a lo más relevante en estadística. De la misma publicación, [12] compara diferentes métodos para estimar la composición.

4.7.1 *Análisis Geomorfológico*

Para las asociaciones donde los diferentes componentes ocupan posiciones conocidas en el paisaje y pueden ser mapeadas a escalas grandes, podemos hacer un mapa de un área de muestreo de la asociación a escala grande (es decir mostrar los componentes de forma separada) y medir su área relativa dentro la asociación.

Ejemplo: en una catena podemos tener un suelo en la posición hombro de la ladera, otro suelo en la espalda de la ladera y otro en el pie de la ladera. Mapear los componentes a una escala grande en pocas áreas de muestreo y después medir sus áreas, podemos encontrar 20% en el hombro, 60% en la espalda y 20% en el pie.

Para generar estimados estadísticamente sólidos, esto debe hacerse muchas veces y no sólo la composición media, sino también los intervalos de confianza pueden ser calculados.

4.7.2 *Transectos*

Son comúnmente utilizados para estimar la composición de la unidad de mapeo, tienen la ventaja de ser estadísticamente sólido (sin sesgo) y dar estimados de su error (intervalos de confianza). La metodología básica fue generada en Holanda por Gruijter y Marsman [22].

Este método tiene los siguientes componentes: trabajo de gabinete, trabajo de campo y gabinete.

Paso 1: En el gabinete, se hace un muestreo al azar en base a las delineaciones dentro la unidad de mapeo hasta una fracción pre-determinada del área de las unidades de mapeo. Con un programa SIG, esto es simple: de la base de datos de las delineaciones, seleccione aquellas de la unidad de mapeo en cuestión y enuméralas consecutivamente.

Haga una lista de números al azar desde 1 hasta el número de delineaciones, hasta que el número de hectáreas requerido sea muestreado. Para evitar el sesgo a pequeñas delineaciones, la probabilidad de muestreo puede ser pesada por el tamaño de delineación.

Paso 2: En el gabinete, dos transectos ortogonales son dibujados en el mapa en cada delineación seleccionada. La orientación (azimut) de los transectos no debe ser importante. La variación es para asegurar la representatividad en la variabilidad espacial dentro la unidad.

Paso 3: En gabinete, los puntos de muestreo son establecidos a intervalos regulares. No deben estar dentro de la distancia por Máxima exactitud por ubicación (Maximum Location Accuracy) del límite.

Paso 4: Los puntos son muestreados en campo. Cada observación es asignada a una categoría de la leyenda, es decir a la clase donde mejor se acomode en la leyenda de mapeo. Si esta varía un poco del rango establecido del taxón, se lista como “similar a” a la taxa más cercana. Si no es semejante a cualquier taxón en la leyenda, este se asigna a ad-hoc “otra” categoría.

Problema: ubicación en campo. Una ubicación precisa dentro la unidad de mapeo no es relamente necesaria; sin embargo es vital conocer si uno está dentro o fuera de la unidad de mapeo. Un levantamiento de suelos digital nos ayudará aca: el transecto puede ser establecido en pantalla y las coordenadas actuales de los puntos de muestreo grabados. Entonces podemos navegar a esos puntos.

En la práctica, podremos encontrar puntos “no suelo” o “suelo disturbado” que caen sobre caminos, canales, etc.

Algunos autores recomiendan ignorarlos, otros recomiendan moverlos a puntos de muestreo cercanos factibles. Parece lógico incluir puntos que son “suelo” y excluir puntos (no reocalizar el muestreo) considerados “no suelo”, caminos y edificaciones, donde el usuario no espera que el mapa de suelos de alguna información; esto dara entonces la composición en el área “suelo”. Independientemente, la proporción de “no suelo” o “suelo disturbado” puede ser estimada por la proporción de puntos que ueron excluidos.

Paso 5: En gabinete, las observaciones son resumidas con procedimientos estadísticos estandares, los cuales son presentados a continuación siguiendo el estudio comparativo reportado por [12].

Procedimientos estadísticos para la caracterización de transectos (1): distribución binomial

Este resulta apropiado para una consociación con un suelo nombrado. La idea es estimar la proporción real del suelo nombrado y suelos similares. Todos los demás son considerados “impuezas” y son agrupados como “otros”. Cada punto de muestreo es considerado un ensayo separado con dos resultados posibles: dentro (se acomoda a la taxa o similar) o fuera. En este caso, la distribución binomial es utilizada; esta distribución simple caracteriza el resultado esperado de n ensayos repetidos verdadero/falso donde la proporción verdadero (pero para nosotros desconocido) de aciertos es p y las fallas $q=(1-p)$. La varianza de n ensayos es $(p-q)/n$.

El estimado de la proporción verdadera p es simplemente:

$$p = r/n$$

donde r es el número de aciertos en n muestras.

El **intervalo de confianza** alrededor de p es estimado por:

$$P \pm \left[Z_{\alpha} \left\{ P*(1-P)/n \right\} + (1/2n) \right]$$

Donde Z_{α} es la desviación estandar normal para cualquier probabilidad de valor más grande que la desviación α , hablando rudamente, la probabilidad de este intervalo de confianza siendo verdadero. El factor $(1/2n)$ es una corrección de población finita que puede ser ignorada para $n > 50$; entonces el factor es $< 1\%$ en proporción.

Ejemplo: 30 muestras, 25 en el taxón nombrado o similar. El estimado p es como $25/30 = 0.83 = 83.3\%$ de pureza. Para calcular el intervalo de confianza a 80% de probabilidad, note que $Z_{0.9} = 1.2816$ (dos colas, por tanto usamos el nivel de 90%) y entonces calculamos el intervalo $\pm 0.104 = \pm 10.4\%$, así (69.6%.....90.4%). Sin la corrección de la población finita, este será $\pm 0.0872 = \pm 8.72\%$, un rango ligeramente estrecho.

Una conclusión apropiada en el reporte del LRS, será:

“En la unidad de mapeo X, estimamos por muestreo estadístico que aproximadamente 83% del área de cada delineación es ocupada por el suelo X. Con 80% de confianza (ver apéndice), estimamos que la proporción real del suelo X se encuentra aproximadamente entre 70 y 90%.

Note que debido a que la distribución binomial es simétrica, el ancho del intervalo de confianza es el mismo para los “aciertos” (suelos nombrados) y “fallas” (suelos no-nombrados). Por tanto, si habíamos calculado un intervalo de confianza para los “aciertos”, no tenemos que recalcular el intervalo para las “fallas”, simplemente centrarlo en $q = (1-p)$.

Ejemplo (continuación): Estime q como $(1-25/30) = 5/30 = 0.16 = 16.6\%$ de impureza. 80% de intervalo de confianza: $\pm 10.4\%$ (lo mismo para la pureza), por tanto (6.26%27.06%).

Podemos cambiar el procedimiento y determinar el **número de muestras** que serán requeridas para lograr un intervalo de confianza dado, con un grado de confianza dado y una proporción correcta asumida.

Procedimientos estadísticos para la caracterización de transectos (2): distribución normal

Otra forma de ver esto será estimando p en cada transecto (delineación) separadamente y después utilizar los varios estimados de p como las muestras en una distribución continua que estime la media.

Tiene la ventaja de permitirnos cuantificar la variación entre y dentro las delineaciones. Si asumimos que los varios transectos son de la misma muestra de la población (es decir, todas las delineaciones son de la misma unidad de mapeo) y que los varios estimados de la proporción real son de una distribución normal, podemos utilizar la estadística t para calcular los intervalos de confianza alrededor de la media estimada.

También podemos utilizar ANOVA para ver si las delineaciones tienen diferentes proporciones.

La media estimada es la media de los estimados separados:

$$p = 1/m \sum_{i=1}^m [r_i/n_i]$$

donde r_i es el número de puntos de muestreo en la clase especificada en el transecto i , el cual tiene un total de n_i puntos de muestreo. Esto en general no es igual a la gran media de todas las muestras; solo es igual si todos los tamaños de muestra n_i son iguales.

El intervalo de confianza es estimado con la ayuda del error estándar de la media, el cual es la desviación estándar dividida por la raíz cuadrada del número de transectos.

El intervalo de confianza resultante será:

$$p \pm t_{\alpha, m-1} * S / \sqrt{m}$$

donde t es el apropiado t estadístico de las tablas, con nivel de confianza α y $m-1$ grados de libertad (de los m transectos).

En el caso de un gran número de muestras, la desviación normal Z puede ser utilizada en lugar de t , sin embargo en este tipo de muestras grandes, aproximadamente >50 , so raras en un levantamiento práctico.

Ejemplo: 6 transectos de (8, 12, 10, 16, 8, 10) = 64 muestras con (5, 8, 7, 10, 6, 8) = 44 corresponden al taxón o similares; el o individual $p_i = (5/8, 8/12, 7/10, 10/16, 6/8, 8/10)$. Estimar p como la media de estas fracciones: $(5/8, 8/12, 7/12, 10/16, 6/8, 8/10) / 6 = 0.694 = 69.4\%$ de pureza.

Note que este no iguala la proporción estimada con todos los puntos de muestreo juntos: $44 / 64 = 68.75\%$.

La desviación estándar de estas proporciones es $0.0703 = 7.03\%$; el error estándar resultante de la media es 2.87% . Note que el coeficiente de varianza s / p es simplemente 10.1% en este caso, indicando que los varios transectos son muy diferentes.

Para calcular el intervalo de confianza a 80% de probabilidad, note que $t_{0.95} = 1.4759$ (dos colas two tailed, es decir usamos el nivel de 90%) y entonces calculamos el intervalo $\pm 1.4759 * 0.0287 = \pm 0.0424 = 4.2\%$, por tanto $(65.2\% \dots 73.6\%)$.

Combinando estos datos y utilizando los intervalos de confianza binomial al mismo nivel de confianza de 80% , nos da un intervalo de $68.75\% \pm 8.2\%$, así $(60.5\% \dots 77\%)$.

4.7.3 Muestreo en bloques

El Manual de Levantamiento de Suelos [48], menciona brevemente:

En lugar de una línea (transecto), identifica un **área** representativa y establece un **esquema de muestreo en grilla**. Analiza como una línea de transecto.

4.8 Sistemas de suelo

Una forma útil de organizar nuestro conocimiento acerca de los suelos en un área geográfica es el **sistema de suelo**. Veremos la asociación íntima entre esta idea y la clave de mapeo en campo. Un buen ejemplo del enfoque de sistemas de suelo es citado por Daniels et al, de North Carolina, USA [20].

Ventajas del enfoque de sistemas de suelo

1. Comunicación clara con no-especialistas acerca de las relaciones suelo-paisaje en una región geográfica restringida.
2. Enfoque lógico a la clave de mapeo en campo.
3. Un sistema de suelos a escala de mapeo pequeña puede muchas veces engrandarse a escalas grandes, con un esfuerzo moderado desde que el patrón de suelos dentro el sistema es conocido.
4. El sistema de suelos es una base lógica para unidades de mapeo de mapas a escala pequeña (ej. asociaciones de fases de series de suelo).
5. El concepto de “claves de suelo” y entonces las variaciones mantiene las diferencias más importantes en mente.

Definición de “sistema de suelos”

De acuerdo a Daniels et al. [20]:

“Un sistema de suelos es un grupo de suelos recurrentes que ocupa el paisaje desde una divisoria de aguas hasta el nivel del río. Los suelos que componen estos sistemas ocupan usualmente posiciones específicas dentro el paisaje como resultado del ambiente edafológico interno producido por la interacción de: estratigrafía, hidrología, geomorfología y clima.

“Un cambio en uno o más de estos factores principales de control, usualmente resultan en un cambio en el sistema suelo”.

“Ejemplos de los factores principales de control son: la cantidad de disección en el planicie costera; tipo de roca madre en el pie de monte; elevación en las montañas”.

Los “suelos” en esta definición son usualmente (fases de) series de suelo, por ejemplo: grupos homogéneos reconocibles de individuos suelo que tienen un rango estrecho de propiedades, suficientemente estrechas para interpretaciones precisas.

Región de suelos, sub-región de suelos y sistema de suelos

Note que todos estos pueden ser definidos después del estudio de los suelos en una región. La región, sub-región y sistema son conceptos algo arbitrarios y no existe intención de estandarizar sus definiciones.

La **región de suelo** es un área geográfica grande con valores constantes o un rango limitado de factores principales de control. Es usualmente definida por la fisiografía, por ej. “planicie costera atlántica”. Muchas veces esto corresponde a un patrón particular del uso de la tierra; de hecho en USA es muy similar a un área principal de reserva de tierras. Pero, sus límites están definidos por los factores formadores del suelo, no el uso de la tierra.

La sub-región de suelo es una división de la región suelo con un rango más limitado de factores principales de control. También es definido por fisiografía, por ej. “planicie costera baja”.

El sistema de suelos es definido dentro una sub-región de suelos, como una unidad fácilmente reconocida con factores de control específicos. Por ejemplo, “planicie costera baja – sistema Pamlico”. Sin embargo, un sistema de suelos puede cruzar una sub-región e incluso límites de regiones, si los factores formadores del suelo locales también cruzan estos límites, por ej. “sistema de suelos orgánicos”.

Especificaciones de un sistema de suelos

Un sistema de suelos es convencionalmente especificados por:

1. Los valores constantes o rangos limitados de sus factores controladores principales, es decir su **contexto**.
2. **Diagramas de bloque** mostrando las variaciones principales en los factores controladores principales dentro el sistema.
3. Un grupo de **claves de series de suelo** que ilustran los conceptos centrales del suelo-paisaje; estos tienen amplia extensión y son un poco distintas unos a otros.
4. Una **tabla de series de suelo** que ocurren en el sistema, organizado por las diferencias principales en la posición del paisaje y/o características internas.
5. Un **diagrama de relaciones** mostrando las claves de suelos y suelos asociados con flechas mostrando transiciones entre suelos. Este diagrama es próximo a una **clave de mapeo en campo**.

5 Métodos de levantamiento

En esta sección investigaremos como se realiza un levantamiento en la realidad, es decir la observación en campo específicamente. Primero, discutiremos el problema principal que se refiere a que los suelos no pueden ser fácilmente mapeados y después analizaremos los tres enfoques diferentes para el levantamiento de estos.

El problema fundamental en el levantamiento de suelos se refiere a que nosotros **podemos observar directamente en campo una fracción muy pequeña del suelo** y su muestreo (a través de barreno o cavando una calicata) es usualmente destructivo, es decir una vez que describimos un sitio, nosotros destruimos su características originales. En pocas circunstancias podemos observar las propiedades del suelo sin destruirlo y sobre el espacio completo (por ejemplo: imágenes radar, imágenes satélite superficiales), pero de manera general nosotros debemos cavar para poder observar esas propiedades directamente. En la práctica confiamos en características asociadas (externas) que creemos están asociadas a la génesis del suelo. La más distinguida entre ellas es la Geomorfología (análisis de las geoformas) y la vegetación/uso de la tierra. Por tanto, aunque habíamos visto el propio suelo en una proporción minúscula de su volumen total relacionando las propiedades del suelo a elementos visibles del paisaje (si es posible), podemos inferir confiablemente propiedades del suelo para todo el paisaje.

Conceptos clave

- 🚧 ¿Cómo el área es cubierta?
- 🚧 Métodos de levantamiento: no-sistemático, grilla, continuo, fisiográfico, libre
- 🚧 Método Geo-pedológico para levantamientos de suelo a semi-detalle.

5.1 ¿Como el área es cubierta?

Queremos mapear la ocurrencia de los suelos en todos los puntos en el área de trabajo. Existen dos enfoques: *analítico* vs. *sintético*.

5.1.1 Enfoques *sintético* y *analítico*

Cuando tratamos de dividir el paisaje en unidades, existen dos enfoques fundamentales: sintético y analítico.

- ❖ En el enfoque **sintético**, primero hacemos observaciones y después tratamos de agrupar esas observaciones para de esa forma las unidades de mapeo resultantes separen o muestren la mayor variabilidad posible. La “síntesis” es la formación de unidades espaciales a partir de puntos de observación. En resumen:
 - Realizar varios puntos de observación
 - Agruparlos en unidades de mapeo, donde la variabilidad *inter-unidad* es *maximizada* y la variabilidad *intra-unidad* es *minimizada*.

- ❖ En el enfoque analítico, primero separamos el paisaje en cuerpos de suelo “naturales”, utilizando características externas como la geoforma, vegetación y la superficie del suelo y después caracterizar las unidades resultantes a través del muestreo. El “análisis” es la separación de cuerpos de suelo “naturales” basado en indicios externos. En resumen:
- ❖
 - Dividir el paisaje en componentes que esperamos tengan suelos diferentes.
 - Caracterizar las unidades resultantes a través de muestreo.

En resumen podemos llamar al enfoque sintético, enfoque “de abajo-arriba” o “nombrar y después agrupar”; al enfoque analítico, enfoque “de arriba-abajo” o “dividir y después nombrar”.

En la práctica, ninguno de los dos enfoques es aplicado de forma pura. En el enfoque sintético, la ubicación de los puntos de observación muchas veces sigue indicios externos que sugieren donde se encuentran los límites entre suelos de notables diferencias; de hecho, estos indicios son usualmente las mismas características externas utilizadas por el enfoque analítico. En el enfoque analítico, la ubicación de los segmentos de límite es muchas veces tedioso; también dos “cuerpos naturales suelo” vistos en la FA pueden ser muy similares que serán agrupados como en el enfoque sintético.

El problema con el enfoque sintético es que no toma la ventaja del efecto sistemático de los factores formadores del suelo en el suelo resultante; en su forma más pura es la forma estrictamente mecánica de obtener la separación máxima estadística entre observaciones. Por esta razón, la mayoría de levantamientos libres son hechos siguiendo el enfoque analítico. El enfoque sintético puede ser aplicado en áreas con **baja predictibilidad**, es decir áreas donde los indicios externos no ayudan a separar los suelos.

5.2 Métodos de levantamiento y muestreo

Podemos dividir los levantamientos dentro las siguientes clases principales:

1. Levantamiento no-sistemático

Los límites se determinan a partir de otros mapas como Geología y Fisiografía. Chequeos de campo ampliamente espaciados se utilizan para determinar las propiedades típicas de los suelos. No existe estimación de la variabilidad interna. No deberían ser utilizados a escalas mayores a 1:500000 y de hecho es mejor si no son mapas reales, mas bien “sketches” y tampoco ser incorporados dentro un SIG.

2. Levantamiento en Grilla

Un esquema de muestreo sistemático es diseñado tomando en cuenta el rango esperado de auto-correlación espacial. Los puntos de muestreo son ubicados y

caracterizados en el campo. Métodos estadísticos y geo-estadísticos estandar son utilizados para estimar la variabilidad.

3. Levantamiento continuo

La Teledetección del suelo mismo o una de sus propiedades cercanas (tono de gris, vegetación, rendimiento de cultivos). Note que la resolución del sensor indica la escala del levantamiento, aunque el levantamiento puede ser generalizado a una escala más pequeña posteriormente.

Ejemplo: El sensor de un satélite con pixeles de 30x30 m, a la definición MLD de Vink estos $900 \text{ m}^2_t = 25 \text{ mm}^2_m$ de forma lineal $30\text{m}_t = 5 \text{ mm}_m$, es decir 1:6000. Pero este es el caso extremo; para evitar ruido excesivo del sensor debemos probablemente agrupar cuatro pixeles del sensor en una muestra de terreno, así la escala máxima será 1:12000.

Por un mismo análisis, vemos que el sensor pancromático SPOT (10x10m de pixel) puede apoyar una mapa continuo a 3X de esta escala, es decir 1:4000.

4. Levantamiento Fisiográfico (FI)

La foto-interpretación de geoformas, seguida de un chequeo en campo de la composición de unidades de mapeo, algunas veces solo en áreas de muestreo, es decir no todas las delineaciones son actualmente visitadas. El muestreo es sesgado a través de posiciones "típicas" en el paisaje, solo así estimados crudos de la variabilidad interna. El **enfoque Geo-pedológico ITC** es de este tipo.

Escalas típicas: 1:50000 a 1:200000. A escalas más pequeñas, sólo los paisajes y geoformas pueden ser delimitadas.

5. Levantamiento Libre

Esta es una extensión del levantamiento fisiográfico. Comienza con una foto-interpretación fisiográfica detallada, pero en este caso todos los límites deben ser verificados y posiblemente modificados después del chequeo de campo. El levantador "surveyor" recorre la mayoría del paisaje en campo, usualmente a través de transectos, concentrándose en áreas con problemas. En zonas con correlación pobre entre la geomorfología y los suelos (ej. frazadas de ceniza volcánica en Ecuador, suelos recientes generados en los polderes en Holanda), las observaciones de campo son utilizadas para ubicar los límites. Existen observaciones suficientes, algunas con sesgo, para obtener un buen estimado de la variabilidad interna.

Escalas típicas: 1:12500 a 1:25000.

5.3 **Levantamiento libre**

El levantamiento "libre" se refiere al método por el cual se crean mapas tipo "área-clase-polígono" donde el levantador es "libre" de escoger los puntos de muestreo de forma de confirmar sistemáticamente el modelo mental de las relaciones suelo-paisaje, dibuja límites y determina la composición de la unidad de mapeo. Así el juicio del levantador y su experiencia son muy importantes. Algunas áreas pueden tener muy pocas

observaciones, si estas se ajustan exactamente al modelo mental (es decir, el patrón del suelo puede ser predecido fácilmente); otras áreas (áreas “problema”) pueden ser muestreadas a detalle. La idea es que con el mismo esfuerzo de muestreo, un mejor mapa puede ser generado por concentración en áreas problema.

5.3.1 “Levantamiento activo en campo”: hipótesis/confirmación

El levantador crea un modelo mental de los factores formadores del suelo y ubica las observaciones para confirmar o modificar las hipótesis. Menos observaciones son hechas en áreas donde la hipótesis funciona bien y donde los factores parecen ser regulares. Más observaciones son hechas en áreas “problema”.

Ejemplo de la Planicie costera de NC: los suelos de las tierras altas son el resultado de:

1. superficie geomorfológica (=edad de exposición), la cual es fácilmente observable a través de escarpes bien definidos entre las superficies.
2. granulometría de los sedimentos parentales (de arena gruesa a arcilla)
3. la napa freática (secuencia de drenaje), la cual es inferida de la distancia vertical y horizontal al drenaje y puede usualmente ser inferida de la humedad superficial con se ve en las FA tomadas en invierno (sin cultivo, mojado y frío).

De estas, (1) es muy predecible, (3) es usualmente fácilmente observable en fotografías y sólo necesita algunos chequeos de campo para confirmar los límites entre las clases de drenaje (simples barrenadas para ver profundidad de los moteados y gleyización), así que (2) es el más problemático. Esencialmente, los chequeos de campo tienen el objetivo de determinar la distribución de tamaños de partículas, la cual corresponde a las clases de tamaño de partículas a nivel de familia en el ST (fine-loamy, coarse-loamy, fine-silty, clayey, sandy). El levantador de suelos está mapeando el patrón sedimentario. En algunas áreas estas con algo consistentes y el mapeo es muy rápido; en otras áreas son mixtas y el levantador debe relajar varios chequeos para determinar los límites y/o la composición de las unidades de mapeo (en el caso de patrones finos de sedimentación).

El levantamiento en grilla será una pérdida de tiempo en algunas áreas: áreas que tengan el mismo drenaje y los mismos sedimentos; deberán haber delineaciones de 400 ha que son mapeadas como consociaciones. En áreas de sedimentación compleja, el levantamiento en grilla nos dará probablemente buenos o mejores resultados.

5.3.2 Escala de mapeo vs. Escala de publicación

Muchas organizaciones de levantamiento de suelos utilizan materiales base para la foto-interpretación y el mapeo en campo a una escala más grande (más detallada) que la escala de publicación.

Por ejemplo, en Holanda, levantamientos de suelo detallados son llevados a cabo en base a los mapas topográficos nacionales escala 1:25000 y después generalizados a una escala de publicación 1:50000 [29, 37].

Razones: ubicación más precisa de límites y puntos de observación en campo; delineaciones tentativas pueden ser mostradas a después generalizadas si es necesario.

Problemas: generalización (referirse para mayor detalle a “Reducción de un mapa a escala más pequeña”, arriba).

5.3.3 *Encontrando los límites*

En mapas de polígonos, debemos dibujar segmentos de límite para separar el suelo continuo en segmentos más homogéneos e interpretables. Preguntas: ¿**dónde** dibujar el límite y **cómo** identificar estos en campo o en la FA?

¿Dónde dibujar los límites?

Criterio: haga la separación más útil, es decir la proporción más alta de variación intracase.

1. zona de transición
2. separación clara

¿Cómo dibujar los límites? Opción 1: por clasificación de las observaciones de suelo

Si las observaciones (barranadas, calicatas) están espaciadas lo suficientemente cercanas, podemos utilizar procedimientos automáticos para dibujar los “mejores” límites con la información existente. O, podemos estimar “a ojo”. Existe un problema real con la “precisión falsa”, es decir viendo cuerpos de suelo donde ellos no existen.

Puede ser aplicable en **áreas de baja predictibilidad**.

Opción 1ª: encuentro automático de límites

Método: Polígonos de Thiessen. Ventajas teóricas. Usado en mapas climáticos.

Ventaja: libre de sesgo

Desventaja: ignora otras evidencias

¿Cómo dibujar los límites? Opción 2: por análisis del paisaje

Esta es la esencia del enfoque geo-pedológico. Podemos llamarlo “divida, entonces nómbrelo”. La ventaja es que los límites que dibujamos son visibles sobre toda la longitud. La desventaja es que estos límites pueden no corresponder con los límites de los suelos.

¿Cómo dibujar los límites? Opción 3: por otras características externas

Algunas veces, indicios no relacionados al análisis del paisaje pueden dar una buena correlación con los cuerpos suelo. El ejemplo clásico es la **vegetación** incluyendo condiciones de cultivo. Un área salina que no tiene una expresión obvia del paisaje es aún fácilmente visible a través de un crecimiento lento achaparrado de un cultivo susceptible a la salinidad y en casos extremos a través de costras salinas, ambas visibles en FA tomadas en un tiempo correcto.

Otro indicio es la **actividad animal**. Por ejemplo, manchones de restos de topo indican al menos 30 cm de drenaje libre.

Muchos otros ejemplos pueden darse: Uso de la tierra: canales de drenaje indican suelos con drenaje pobre que ahora han sido drenados.

5.3.3.1 La naturaleza de los límites

Lagachiere et al. [39] presentan una clasificación de límites interesante como ellos ocurren en la naturaleza, de acuerdo a dos ejes:

1. **Fuzziness:** ¿cuán exacto es el límite en la realidad?
2. **Uncertainty** (incertidumbre): ¿cuán exacto podemos ubicar el límite a partir de elementos externos?

Es muy interesante saber que estos dos ocurren independientemente de cada uno. Pueden ser límites naturales exactos que son difíciles de mapear; contrariamente, existen límites naturales difusos los cuáles son fáciles de mapear (ej. encontrar el centro de la zona de transición).

La siguiente tabla tomada de Lagacherie [39], nos da un ejemplo de situaciones de paisaje donde estas combinaciones pueden ser encontradas:

		Fuziness	
		<i>Alta</i>	<i>Baja</i>
Uncertainty	<i>Alta</i>	Variación gradual de la pedregosidad de una capa intermedia del suelo con elementos de la superficie no observables.	Variación no detectable pero abrupta en la estructura del suelo en horizontes profundos del suelo.
	<i>Baja</i>	Variación gradual de del espesor de los horizontes, delineados por cambios marcados en la vegetación/uso de la tierra.	Variación abrupta de todo el perfil del suelo (cambio geológico), detectable por un cambio en pendiente y variación en la pedregosidad de la superficie.

5.3.4 Areas de baja predictibilidad

El mayor reto del levantamiento tradicional libre basado en FA y análisis del suelo-paisaje son las llamadas áreas de baja predictibilidad, donde propiedades del suelo importantes (típicamente en el sub-suelo) no tienen expresión superficial, ni en la vegetación o uso de la tierra ni en la posición del paisaje. Aún, los suelos deben ser

mapeados exactamente para predecir el éxito de nuevos usos los cuales confiaran en algunas propiedades del sub-suelo.

A continuación, algunos pensamientos del manual de levantamiento USDA, página 230:

“Un gran acuerdo entre la habilidad y juzgamiento se requiere en áreas de baja predictibilidad. Ráramente, los suelos en dos sitios de muestreo son exactamente semejantes. El estudio de un simple sitio no es suficiente para identificar un área significante”.

“Las unidades de mapeo estan definidas para incluir la variabilidad dentro áreas lo suficientemente grandes para ser significativas para los objetivos del levantamiento. Utilizando ideas pre-conceptualizadas de límites significantes de propiedades definidas para definir unidades de mapeo sin considerar su distribución geográfica generalmente resulta en unidades no mapeables. Límites sin significado pueden resultar”.

Lo que el SSM está previniendo en contra, es dibujar límites sin significado entre los puntos de muestreo. Deberá existir suficiente muestreo para establecer que existe una tendencia real o separación y que los diferentes puntos de muestreo no son sólo parte de una unidad de mapeo grande con amplia variabilidad (por ejemplo, un complejo).

5.4 Enfoque geo-pedológico (suelo-geomorfología)

El “enfoque Geo-pedológico ITC” para el levantamiento de suelos fue desarrollado por Zinck [59] y es esencialmente una aplicación sistemática del análisis geomorfoógico para el mapeo de suelos.

Este enfoque puede ser utilizado para cubrir áreas grandes rápidamente, especialmente si la relación geomorfología-suelos es cercana. Depende en la verdad de dos hipótesis:

1. Los límites dibujados a través del análisis del paisaje separan la mayor variación en los suelos; para hacerlo mejor requerirá un muestreo exhaustivo. Este será el caso si los tres factores formadores del suelo (material parental, relieve, tiempo) que pueden ser analizados por este enfoque son dominantes (no organismos, clima) y también si el mapeador interpretó correctamente las fotos y áreas de muestreo. El interpretador debe formar un **modelo mental correcto** basado en la **geomorfología** (relaciones suelo-paisaje) y aplicarlo correcta y consistentemente.

2. Las áreas de muestreo son representativas; su patrón de suelo puede ser confiablemente extrapolado a unidades de mapeo no vivitadas.

Adicionalmente, el enfoque geo-pedológico tiene ventajas en la construcción y estructuración de la leyenda. Es un sistema de leyenda jerárquico; una vez que las líneas son dibujadas a un nivel categórico, ellas se mantienen, incluso si lo suelos en uniddes adyacentes tienen la misma clasificación. Esto se debe a las muchas interpretaciones que estan relacionadas a las “geoformas”.

El enfoque geo-pedológico es utilizado en estudios a semi-detalle (escalas 1:35000 a 1:100000) como sigue. El material básico son usualmente FA pancromáticas con suficiente solape para conseguir visión estereoscopica, a la escala de mapeo o un poco más grande (es decir, 1:24000 a 1:60000), pero otro material puede ser utilizado, sea

menos detallado como las imágenes de satélite o más informativo como fotografías falso color.

1. Identifique los **paisajes** (nivel 1 de la jerarquía) en las FA (o imágenes de satélite a este nivel de generalización) y separe estos a través de líneas maestras. Existe un estandar de paisajes con definiciones descriptivas: Montaña, Serranía, Altiplanicie, Peneplanicie, Pie de monte, Planicie y Valle.
2. Dentro de cada paisaje, identifique el **tipo de relieve** (nivel 2 de la jerarquía) y sub-divida las unidades del nivel 1 (paisaje) por estas. Los tipos de relieve se encuentran en una arga lista para cada tipo de paisaje. Por ejemplo, dentro el paisaje Altiplanicie, podemos identificar mesetas disectadas, lomas aisladas, escarpes, etc. Dentro un paisaje de valle, podemos identificar terrazas, vallecitos, etc.
3. Dentro de cada paisaje y tipo de relieve, identifique la **litología** (nivel 3 de la jerarquía) y sub-divida las unidades del nivel por la litología. Algunas veces esto es posible por medio de la fotografía simplemente pero en su mayoría requiere de conocimiento previo del área y el uso de mapas geológicos. La litología es tanto el tipo de roca como su origen (ej, alluvium de sistemas fluviales diferentes con orígenes diferentes).
4. Dentro de cada paisaje, tipo de relieve y litología, identifique las **geoformas** (nivel 4 de la jerarquía) y sub-divida la sunidades del nivel 3 por estas.
5. Identifique **áreas de muestreo**, las cuales son transectos de 1 a 2 km de ancho que cruce una secuencia de unidades del nivel 4, usualmente dentro de una o dos unidades del nivel 2. Estas son típicamente 10% del área total, pero esto puede ser menor si todo el paisaje es algo uniforme.
6. Ubique las observaciones en cada unidad de nivel 4 del área de muestreo en **localizaciones representativas**, es decir donde las FI parezcan claras. Haga anotaciones detalladas de los suelos que fueron encontrados. Al mismo tiempo, haga observaciones suplementarias a través del barreno en ubicaciones cercanas de dos formas: (1) al azar dentro la misma posición fisiográfica para chequear que la ubicación representativa es realmente representativa (ej. buscando posibles **complejos**), y (2) como estudios de toposecuencia dentro de una unidad de FI, es decir busando a propósito la variabilidad alrededor de la geoforma local (buscando posibles **asociaciones**).
7. Si suelos **significativamente diferentes** son encontrados dentro de las unidades de nivel 4, decida si ellos pueden ser mapeados separadamente a la escala de mapeo a través de: (1) una FI más detallada de la geomorfología o (2) FI de elementos no geomorfológicos, como por ejemplo el tipo de vegetación. Si es así, expandir la leyenda y dibuje nuevos segmentos al nivel 4. El resultado de los pasos 6 & 7 es un modelo del mapa para toda el área.
8. Ahora, **extrapole** a áreas no visitadas, aplicando las reglas de FI desarrolladas en pasos previos. Ubique más observaciones de campo de manera de (1) chequear la corrección de la extrapolación y (2) resolver áreas problema que no

están claras de la FI. De toda el área, 80-90% de las observaciones se encuentran en las áreas de muestreo y 10-20% en la extrapolación.

5.4.1 *El enfoque geo-pedológico comparado con otros enfoques*

La leyenda geo-pedológica es estructurada de acuerdo a cuatro niveles jerárquicos establecidos. Esto contrasta con la forma-libre del enfoque fisiográfico utilizado en muchas organizaciones de levantamiento de suelos y con el enfoque de análisis de elementos a FI, el cual busca combinaciones únicas de elementos de FI sin una estructura de leyenda rígida. Algunas veces puede parecer que el enfoque geo-pedológico está forzando una estructura que está en ventaja con análisis fisiográfico local. En particular, la posición de la litología en el sistema como tercer nivel es reconocido por Zinck como problemático.

5.5 La clave de mapeo en campo

En un área geográfica limitada, todo lo que necesitamos son pocas características diagnósticas para separar los suelos posibles. Esto hace que el mapeo vaya rápido y que cada observación pueda ser rápidamente clasificada. Es una de las tareas del levantador, el desarrollo de una clave de campo.

Esta puede ser también utilizada por un personal menos entrenado como los extensionistas que visitan a los agricultores, los cuales pueden reportar los suelos que encontraron sin necesidad de entender el procedimiento de levantamiento completo.

Existen tres aspectos principales para la clave de mapeo en campo: la posición en el paisaje, características externas y la morfología.

Posición del paisaje

Esta restringe ciertos suelos a ciertos paisajes y posiciones. Si el levantamiento es ya basado en la Geomorfología, esto restringe nuestra elección de suelos basados en las divisiones geomorfológicas principales.

Paisaje en general: terrazas de planicie costera; asumiendo que pueden ser distinguidas en el campo.

Posición del paisaje: dentro una catena o en un elemento específico del paisaje, por ej. terraza.

Características externas

Primero, todo lo que controla la génesis del suelo consistentemente en esta área y que puede ser visto fácilmente en campo o en la FA.

Ejemplos: tipo de vegetación natural; litología

Segundo, todo lo que sea correlacionado con el tipo de suelo en el área.

Ejemplo: uso de la tierra, ej. si un área es utilizada para el cultivo de arroz a inundación, asumimos que existe un suelo de textura fina lo suficiente como para almacenar agua.

Morfología

La morfología del perfil, por ejemplo la profundidad al horizonte argílico, moteados, textura, etc. Esta nos debe dar la identificación final del suelo. La idea es usar fácilmente características identificadas, preferiblemente visibles solo por barrenadas y a la mínima profundidad posible.

Alguna gente utiliza la Taxonomía de Suelos como clave de campo. Esto muchas veces funciona debido a que muchas de las características diferenciadoras en este sistema son observables en campo y representan importantes diferencias. Actualmente, lo que ellos hacen es simplificar el ST de acuerdo a condiciones locales, dejando simplemente las características diferenciadoras y taxa localmente relevante. Ejemplo: buscando epipedones mólicos en climas húmedos, usted puede ignorar todas las frases acerca de calizas finamente divididas recortando los colores oscuros.

Problema: nadie puede actualmente determinar todas las propiedades necesarias en el campo para la clasificación en el ST. En la práctica, algunas características usadas en el ST son utilizadas para hacer una clave de campo, la cual resulta en una simplificación gruesa del ST.

La clave de campo puede ser escrita como una clave dicotómica, un árbol de decisión multi-way o como un diagrama de "suelos clave" a variantes. Puede incluir propiedades externas como la posición del paisaje y la superficie geomorfológica.

6 El mapa y el reporte del levantamiento de suelos

Este es el documento que tiene el propósito de ser utilizado por el público. Por tanto, deberá ser escrito de acuerdo a nuestra audiencia meta. Muchas veces, la misma información es repetida, ya que se utiliza lenguaje técnico para comunicarnos con otros edafólogos y en lenguaje común para comunicarnos con no-especialistas pero que utilizan el suelo.

6.1 Leyendas del mapeo

Cada una de las áreas más o menos homogéneas en el mapa deberán tener un nombre y sus propiedades deberán ser descritas.

Leyenda de mapeo: el conjunto de los nombres de las unidades de mapeo es la leyenda de mapeo. Esta nos provee de nombres para referirnos a áreas dentro el mapa, por ejemplo: “este polígono representa una asociación de Cazenovia silt loam, 0-3% de pendiente y Palmira gravely loam, 3-8% de pendiente”.

Leyenda descriptiva: el conjunto de descripciones de sus propiedades corresponde la leyenda descriptiva. Este es el link entre el mapa y la teoría que podemos hacer acerca de las unidades de mapeo. Por ejemplo: “en este polígono, la profundidad de la napa freática es siempre mayor a 2m”. Muchas veces esto se presenta en forma narrativa para cada categoría de la leyenda. También puede ser presentado como un conjunto de tablas.

Leyenda interpretativa: una frase o juicio acerca de la unidad de mapeo con propósitos específicos, es decir el resultado de la evaluación de tierras, por ejemplo: “esta área es altamente apta para cultivos de grano de forma intensiva mecanizada y bajo riego”. Esta generalmente se presenta en forma de tablas interpretativas, una tabla para cada interpretación y cada tabla teniendo una entrada por unidad de mapeo.

6.1.1 Agrupando unidades de mapeo en una leyenda

La leyenda del mapa muchas veces agrupa unidades de mapeo “relacionadas”. Esto es sólo necesario para comunicar algún nivel más “alto” o un concepto más abstracto para el usuario del mapa.

Opción: sin agrupar

Corresponde a los típicos levantamientos de suelos a detalle realizados en USA. Las unidades de mapeo se listan en orden alfabético. Debido al sistema de nombramiento (ej. fases de series), todas las unidades de mapeo para series se agrupan juntas. Pero no existe la intención de realizar un agrupamiento a niveles más altos.

Opción: por el paisaje

Es decir, montañas, serranías, terrazas, planicies, etc. Es típico de mapas generados a partir del enfoque geo-pedológico. Es muy positivo brindar al usuario una idea general de los tipos de paisaje existentes; estas pueden tener implicaciones directas en el uso de la tierra.

Opción: a través de un esquema de clasificación

No muy útil para la mayoría de usuarios si el esquema de clasificación es pedológico. Sin embargo, si el esquema es local y basado en las propiedades principales, es similar a lo siguiente:

Los grupos de unidades de mapeo según la clasificación Holandesa, la cual está basada en las características principales del perfil del suelo.

Opción: a través de sus principales propiedades

La leyenda es agrupada de acuerdo a la importancia de las propiedades en el área de levantamiento, por ejemplo las condiciones de drenaje o material parental principal. Esto nos lleva a leyendas con grupos como “suelos húmedos” “suelos de tierras altas”, “suelos de drenaje estacional”. Este puede ser algo efectivo si la propiedad principal es de importancia extrema para el uso de la tierra.

Opción: por aptitud o capacidad de uso

La leyenda se agrupa de acuerdo a la capacidad de uso de la tierra (USDA), la clasificación fines de riego (USBR) o la aptitud de uso de la tierra (FAO) para un uso dominante. Este es apropiado si el levantamiento fue hecho con el objetivo de apoyar planificación conservacionista a nivel de finca (capacidad de uso) o planificación con fines de riego (USBR). Para levantamientos multi-propósito no es satisfactorio debido a que diversos tipos de utilización de la tierra tendrán en general diferente rango o categorización para cada unidad de mapeo.

6.1.2 Descripción de la composición de una unidad de mapeo

El nombre de la unidad de mapeo (tipo y constituyentes) provee la taquigrafía para describir esta unidad. Sin embargo, ambas el usuario de la tierra no técnico y el científico en otros campos requieren información mas detallada y descriptiva.

Brown & Huddleston [11] discuten la mejor forma de comunicarse al usuario a través de la composición de la unidad de mapeo y muestran ejemplos de buena y pobre comunicación. Mi sugerencia basada en su trabajo y el trabajo de otros autores es como sigue:

1. Incluya en el reporte un glosario con la definición de los tipos de unidades de mapeo incluidas en el mismo, como “consociación”, “asociación”, etc. Por ejemplo:

“**Consociación:** un solo tipo de suelo es nombrado. Este tipo de suelo nombrado y suelos cercanamente relacionados que difieren en una o pocas propiedades sin importancia y que no afectan las interpretaciones, constituyen al menos 75% del área de la consociación. Por tanto, hasta 25% del área total puede contener suelos que difieren significativamente en una o más propiedades del tipo de suelo nombrado. Hasta un 15% del área total puede contener suelos que difieren significativamente del suelo nombrado y que adicionalmente son significativamente más limitantes para uno o más usos de la tierra”.

“**Asociación:** Varios tipos de suelo importantes que ocurren en la unidad de mapeo son nombrados. Estos suelos ocurren en un patrón regular en el paisaje que puede ser visto en campo y en las FA pero que no pueden ser mapeadas a esta escala de levantamiento. Los tipos

de suelo nombrados y los suelos cercanamente relacionados que difieren en una o pocas propiedades sin importancia y no afectan las interpretaciones, constituyen al menos 75% del área de la asociación. Por tanto, hasta 25% del área total puede contener suelos que difieren significativamente de los suelos nombrados en alguna de sus propiedades. Hasta 15% del área total puede contener suelos que difieren significativamente de todos los otros suelos nombrados y adicionalmente son significativamente más limitantes para uno o más usos”.

“**Complejo:** Similar a la asociación excepto que los suelos nombrados no ocurren en un patrón regular en el paisaje, pueden ser vistos en campo y en las FA a escalas de mapeo normales. Al contrario, ellos ocurren juntos en un patrón intruncado que puede ser descubierto solo a través de inspección detallada en sitio”.

2. Para cada unidad de mapeo, liste las inclusiones, sean estas similares o no, su porcentaje estimado y si es posible sus posiciones dentro el paisaje. Por ejemplo, a continuación le presentamos un descripción hipotética de la unidad de mapeo “Norfolk sandy loam, pendientes de 0-2%:

“...incluido con el suelo nombrado en el mapeo están pocas áreas de suelos similares Goldsboro y Wagram, y suelos disimilares Lynchburg y Rain, así como pedones similares a Norfolk que no reúnen los criterios exactos de las series Norfolk (“taxadjunta”). Los suelos Goldsboro tienen una napa freática algo elevada y los suelos Lynchburg y Rains tienen más elevada. Los suelos Wagram tienen un horizonte superficial francomás espeso. Suelos Goldsboro son la inclusión más común constituyéndose entre 5 a 10% de la mayoría de las delineaciones y ocasionalmente hasta 15%. Ellos ocurren en posiciones relativamente bajas en el paisaje. Suelos Lynchburg ocurren en cerca de la mitad de las delineaciones y forman entre 2 a 5% de estas. Ocurren en pequeñas depresiones y limitan las operaciones de campo. Los suelos Rain y Wagram son raros y cuando ocurren forman menos que el 5% de las delineaciones. Los suelos Rain ocurren como pequeñas islas difíciles de mapear. Estos son generalmente se evitan durante las operaciones de campo. Suelos Wagram ocurren como pedazos aislados en algunas delineaciones; ellos no presentan problemas para operaciones de campo pero son más susceptibles a la sequía. La taxaadjunta Norfolk ocupa hasta 30% de muchas delineaciones; ellas difieren de la definición de serie en características menores que no afectan apreciablemente el manejo de suelos”.

3. Si existe un transecto u otros datos de campo estadísticos, reporte su resultado.

“Norfolk y suelos similares forman entre 65 a 82% de las áreas mapeadas. Suelos similares incluidos en el mapeo pueden tener una capa franco arenosa de 40 a 60 cm de espesor, o arena francoso, franco arenoso fino o textura francosa.....Los suelos disimilares y limitantes Lynchburg y Rains constituyen de 2 a 12% del área mapeada....Todas las frases vertidas son generadas con un 80% de confianza”.

El concepto de **nivel o grado de confianza** es difícil para gente no entrenada en la comprensión de la estadística, así que tal vez sea útil incluirlo en un apéndice. El lenguaje sugerido es:

“Los datos estadísticos en la composición de la unidad de mapeo en este reporte están basados en un nivel de confianza del 80%. Esto significa que, si la muestra que estudiamos fue seleccionada verdaderamente al azar dentro de todas las posibles muestras existentes que pudimos escoger, la composición que reportamos tiene un 80% de probabilidad de contener la composición real. Otra forma de decir lo mismo es que si habríamos sido capaces de tomar un número elevado de muestras similares, 80% de los intervalos de confianza que calculamos de estos contendrán la composición real. Obviamente, no sabemos si nuestra muestra es una de esas 80% o una de las 20% que no contienen la composición real o verdadera.

“Nosotros siempre tenemos la posibilidad de incrementar el nivel de confianza ampliando los intervalos de confianza; de esta forma nosotros somos *más confidentes* de una frase *menos precisa*. Tratamos en este reporte de encontrar un balance entre la confianza y la precisión”.

6.2 Procedimiento

Si los procedimientos de levantamiento son descritos en una referencia estandar, puede ser suficiente simplemente dar una referencia a ello (por ejemplo, el Manual de levantamiento de suelos USDA o el enfoque Geo-pedológico). Sin embargo, es mejor describir como el levantamiento fue ejecutado. De esta forma el usuario puede tener una mejor idea de la calidad del levantamiento.

Si más de un método fue utilizado, muchas veces existe un mapa índice de procedimientos. Este es un adjunto al mapa principal que muestra como el área de levantamiento fue examinada. Puede incluir para cada área: (1) quien fue el levantador (surveyor), (2) que fecha, (3) la escala de mapeo o densidad de inspecciones, (4) las fuentes de datos utilizados.

6.3 El mapa

Por supuesto este constituye el producto principal del levantamiento de suelos. En esta sección hacemos un énfasis en las técnicas de presentación de mapas.

6.3.1 Los Colores

Una buena introducción a la teoría del color y su aplicación en cartografía, incluyendo SIG, es la publicación del ITC por Brown and Feringa [10].

En USA, desde los 1960's no se utilizó el color. El mapa es simplemente una herramienta de información: el espacio es dividido por segmentos que representan límites y etiquetados con símbolos. Ventaja: no existe sesgo visual, el usuario no hace inferencias sin garantías.

El color es atractivo pero si es utilizado, **debe significar algo**. Debe reflejar el agrupamiento de la leyenda (las clases). Colores tradicionales como púrpura para **peat**, azul para suelos minerales pobremente drenados, verde para suelos minerales bien drenados y amarillo para suelos excesivamente drenados, parecen ser psicológicamente satisfactorios, pero su uso deberá ser verificado con los clientes. Un texto estandar de cartografía como el de Robinson *et al* [45] debe ser consultado tanto para símbolos psicológicos y problemas prácticos del uso del color.

Si los suelos son agrupados en una leyenda jerárquica como en el enfoque geopedológico, la categoría más alta (el nivel de paisaje) deberá ser asignada con el color principal y después por tonalidades o variaciones del mismo para categorías inferiores. Así, el usuario del mapa puede fácilmente ver el patrón de los principales paisajes. Esto nos brinda una idea general de nuestra área de estudio.

El peor caso en el uso del color es cuando se utilizan colores extremadamente diferentes para suelos similares.

Reglas cartográficas empíricas: más de seis a diez tipos de matiz son confusos; colores oscuros empañan los elementos de referencia topográfica.

6.3.2 Símbolos: puntos

En muchos casos es muy importante mostrar condiciones de “puntos”, Por “punto” nos referimos a “áreas” que no pueden ser mostradas a la escala del mapa.

“Punto”, definido como <MLD; el sitio se encuentra en el centro; este puede ser casi del tamaño de la MLD.

Estos puntos deben ser correctamente ubicados. Ellos son usualmente visibles en al FA; pueden haber problemas en la transferencia a una base geo-referenciada con suficiente exactitud.

6.3.3 Límites

Parece factible indicar los diferentes tipos de transiciones entre delineaciones con diferentes símbolos de línea. Por ejemplo, el grosor de la línea puede indicar el ancho de la transición. O una línea entrecortada puede ser utilizada para límites inferidos o inciertos (como es hecho en mapas geológicos). Según mi conocimiento, ninguna organización de levantamiento hace esto.

6.3.4 Límites geoméricamente corregidos

Problema: estereopares de FA no están geoméricamente corregidos, por tanto ni las foto-interpretaciones ni las líneas dibujadas en campo sobre ellas. Para un mapa correcto, especialmente si este será incluido en un SIG, los límites deberán ser geoméricamente exactos y geo-referenciados.

Solución 1: transferencia manual a orthophotos

La solución 1 es transferir las líneas manualmente a una orthophoto que cubra la misma área como las fotos no rectificadas utilizadas para el mapeo. La orthophoto es un mapa base geoméricamente corregido que también muestra el detalle de las FA. No se requiere de un dispositivo especial; con los detalles útiles de las FA las líneas pueden ser redibujadas exactamente. El problema lo constituye la obtención de la orthophoto, para ello referirse al Manual técnico.

Solución 2: transferencia manual a un base corregida

Solución 2 (tradicional): transfiera manualmente las líneas a un mapa base geoméricamente corregido (generalmente un mapa topográfico) con una mesa reflectora de luz o un zoom de transferencia. Continuamente ajuste con la vista, trabaje en áreas pequeñas sólo entre ajustes. La exactitud puede ser alta si existe una buena densidad de elementos para la interpolación. La exactitud es alta si un elemento mostrado en el mapa base es seguido exactamente, por ejemplo un río.

Problema 1: el mapa base no muestra elementos suficientes, como en una planicie árida.

Problema 2: si el mapa base es de baja calidad

Solución 3: rectificar & georeferenciar el acetato

Solución 3: rectifique y georeferencie las FA. Geo-referencie con 10 a 20 puntos identificables exactos que pueden ser vistos tanto en la FA como en el mapa base. Típicamente, el acetato conteniendo la interpretación es geo-referenciado en un digitalizador.

Si el programa puede ejecutar ortho-corrección, entonces el mapa base debe ser primero convertido en un DEM para que cada punto tenga su elevación asociada y la forma del terreno sea conocida. Esto puede dar muy buenos resultados.

Solución 4: pre-mapeo con mapas geoméricamente corregidos

Idea básica: encuentre algunos límites de suelo o paisaje sobre mapas geoméricamente corregidos, después una otras líneas a esas.

Fuente 1: mapas topográficos: ríos, curvas de nivel

Fuente 2: imágenes satélites.

Ventaja: muy baja distorsión de relieve; los errores del sistema pueden ser entendidos y controlados por procedimientos estándares. Usualmente pueden ser geo-referenciadas y resampladas dentro de uno o tres píxeles de error (30 a 90 m). Esto puede ser suficiente para mapas a escala 1:100000 o escalas más pequeñas.

6.4 Sitios representativos

Estos son pedones de suelos importantes del área que ha sido descrita y muestreada en detalle. Ellos nos proveen de benchmarks para los clientes del LRS más sofisticados. "Todo" acerca del pedón es descrito.

- Información del sitio
- Datos descriptivos: perfil del suelo & horizontes
- Datos analíticos: tests físicos, químicos, mineralógico e ingenieriles

6.5 Comunicando los patrones del suelo a los usuarios del levantamiento

El patrón del suelo tanto dentro y entre delineaciones puede ser mostrado al usuario del LRS, de esa forma estas relaciones pueden ser reconocidas en el campo.

- Diagramas de bloque: dibujos tridi-mensionales de la relación entre el sub-estrato, posición en el paisaje y suelos.
- Descripciones del patrón: grandes diferencias en el manejo
- Geo-estadística: (dependencia espacial) para estudios especiales.

6.6 Correlación a un sistema de clasificación estandar

Propósito: Hace posible considerar la transferencia de tecnología de áreas análogas.

Si la leyenda ya se encuentra en el sistema de clasificación, esto es necesario simplemente para correlacionar a otro sistema.

Si la leyenda es de Serie de suelo, esta es necesaria para relacionar la Serie a experiencias exteriores.

La correlación puede ser a un sistema nacional o a sistemas internacionales (ST, WRB).

6.7 Interpretaciones de un levantamiento de suelos

El Levantamiento de suelos como tal, es sólo interesante para los Pedólogos. El usuario o cliente del levantamiento de suelos está interesado en interpretaciones, por ejemplo, que dice el levantamiento respecto a usos actuales y potenciales de la tierra y estrategias de manejo. Si consideramos el suelo como parte de los recursos tierra, el levantamiento de suelos llega a ser un insumo para la *evaluación de tierras*; sin embargo, podemos considerar al suelo como tal y aún producir buenos resultados. Tradicionalmente, la frase **interpretación de levantamientos de suelo** ha sido utilizado para describir este proceso.

La idea básica es tomar las unidades de mapeo de un levantamiento a detalle (en USA a nivel de condado, mapas a 1:20000 donde las unidades de mapeo son usualmente fases de las series de suelo) e interpretarlas directamente para usos de la tierra anticipados, mostrando el efecto de los *suelos & las características de la tierra relacionadas* (nombradas en las fases de esas unidades) en esos usos. El resultado es una aptitud para el uso basado en la severidad de *limitaciones relativamente permanentes*. No es una evaluación económica, aunque la relativa dificultad de paliar las limitaciones es implícita en el. En muchos casos, este enfoque es usado con propósitos diferentes a los agrícolas como en ingeniería, cuyas limitaciones y "productividad" no pueden ser fácilmente cuantificados en el contexto del levantamiento de suelos.

El énfasis es en limitaciones relativamente permanentes del uso de la tierra causado por el suelo o características de la tierra asociadas (generalmente nombrada en la fase), por ejemplo, pedregosidad y pendiente.

La asignación de pesos depende en cuan severas sean; esta es al menos una evaluación implícita económica.

La **razón** para cada clasificación es dada, es decir la naturaleza de su limitación.

Olson [44] escribió un texto que utiliza este enfoque; él también produjo un ejemplo más detallado para aplicaciones de ingeniería como construcciones suburbanas [43]. Después de 1970 el levantamiento de suelos de USA tiene tablas interpretativas que siguen este enfoque. El National Soils Handbook [47] explica este enfoque y tiene algunas tablas de ejemplo.

Ejemplo: extraído de [47]

Clasificación para tanques sépticos de absorción en campo

PROPIEDAD	LÍMITES			Elemento restrictivo
	Bajo	Moderado	Severo	
Inundación	Ninguno	Raro	Común	Inundación
Profundidad a la roca (cm)	>180	100-180	<100	Profundidad a la roca madre
Profundidad a un pan (cm)	>180	100-180	<100	Pan cementado
Encharcamiento			Si	Encharcamiento
Profundidad a la napa freática (cm)	>1.8	1.2-1.8	<1.2	Humedad
Permeabilidad de 60-150 cm de prof. (cm/hr)	5-15	1.5-5	<1.5	Precolación lenta
Permeabilidad de 60-100 cm de prof. (cm/hr)			>15	Filtro pobre
Pendiente (%)	<8	8-15	>15	Pendiente
Fracción >7.5 cm (peso%)	<25	25-50	>50	Piedras gruesas

Las “propiedades” (columna izquierda) son características de la tierra que son conocidas para cada unidad de suelo a ser valorada. Se constituye en una tabla de máxima limitación: la columna derecha de leve, moderado y severo nos dan la valoración. Cada unidad de mapeo recibe su calificación o valoración y una lista de los elementos restrictivos.

Ventajas: directamente aplicable a planificación; si el procedimiento de decisión fue desarrollado, este provee una comprensión directa al uso de la tierra. El tipo de limitación es hecho explícito.

Desventajas: la mayoría de reportes indican como las unidades de mapeo fueron evaluadas (el reporte en si no incluye la tabla de valoración). Los árboles de decisión de ALES pueden ser creados para hacer interpretación, pero algunas veces los criterios son mas “holísticos” (puede dar una buena clasificación pero no puede ser reproducido).

Recuerde, no es una interpretación económica; el costo para superar una limitación es sólo implícito. Algunas limitaciones pueden ser factiblemente removidas, otras no, dentro el contexto de un TUT. En el ejemplo anterior, es difícil y caro remover la roca madre, pero la profundidad de la napa freática puede ser controlada por drenaje en ciertos sitios. La factibilidad en Ingeniería no está considerada en las valoraciones, esta tendrá que ser determinada para cada sitio.

La relación al estilo FAO de evaluación de tierras: los usos de la tierra (tablas individuales) pueden ser considerados como Tipos de Utilización de Tierra.. Los tipos de limitaciones pueden ser considerados como Requerimientos de Uso de la tierra. Las variables suelo diagnóstico pueden ser consideradas como Características de la tierra diagnóstico.

7 Control de calidad en el levantamiento de suelos

En esta sección presentamos conceptos y técnicas para asegurar y evaluar la calidad de un levantamiento de suelos publicado. El levantador (surveyor) puede usar algunas de estas técnicas para producir un mejor levantamiento; el usuario del levantamiento puede utilizar otras técnicas para evaluar la calidad del levantamiento que es entregado por el levantador. Existen dos actividades principales: **correlación** en sus diferentes significados y **control de calidad**.

7.1 Correlación

La correlación significa “relacionar cosas similares”. El término “correlación” fue originalmente utilizado en Geología donde significaba “demostrar equivalencia entre afloramientos rocosos espacialmente separados”; esta equivalencia puede ser en litología, edad o agrupación de fósiles. Por analogía “correlación de suelos” significa “demostrar equivalencia entre individuos o cuerpos suelo espacialmente separados”. Nosotros utilizamos el proceso de correlación para asegurar que los **individuos suelo similares y las áreas de mapeo tengan el mismo nombre**.

Esto es en diferentes contextos:

1. Entendiendo la misma cosa por los mismos términos descriptivos, es decir **terminología consistente**.
2. Localizando las observaciones de campo en la categoría taxonómica correcta (**clasificación de individuos suelo**).
3. Estableciendo **nueva taxa** si es necesario (nuevas series de suelo)
4. Estableciendo una **leyenda de mapeo**
5. Localizando delineaciones en la categoría de leyenda correcta.

En todos los casos, la correlación es por una parte científica (utilizando materiales publicados como claves y utiliza muestreo en campo) y por otra institucional, es decir está basada en experiencia institucional. Esto es similar a las decisiones emitidas por las leyes judiciales en países donde el precedente legal es importante; por muchas generaciones cada juez (levantador de suelos) se propone un uno **consistente** de la terminología o lenguaje suelo.

La correlación es en la práctica un proceso difícil y controversial. Requiere una experiencia de campo substancial y “memoria institucional”.

7.1.1 Terminología consistente

Esto no es realmente “correlación” de por sí, pero es vital para cualquier observación científica. Todos los levantadores deben estar de acuerdo en la definición y uso de todos los términos descriptivos utilizados en el levantamiento de suelos. Sin esto, los pasos de correlación sucesivos no son válidos, ya que ellos dependen en la clasificación de individuos y áreas utilizando terminología consistente.

Ejemplos (observaciones de punto): textura en campo, consistencia, tipo y grado de estructura, plasticidad, número y patrones de moteados..... (miles de términos).

Ejemplos (área de observaciones): cobertura superficial por fragmentos gruesos (tipo y cantidad); forma de la pendiente: grado de la erosión actual.....

Sin esto, los siguientes pasos son inútiles. Aseguraremos terminología consistente a través de un buen entrenamiento en campo de edafólogos y chequeos constantes de un staff senior.

7.1.2 Clasificación de individuos suelo

A cada perfil descrito en campo se le debe asignar una **categoría taxonomica**, es decir se lo debe **clasificar**. Para ello se puede utilizar un sistema establecido como la Taxonomía de Suelos, o un sistema local de Series, o incluso utilizar una leyenda de mapeo local. **Todos los edafólogos con buen nivel deben estar de acuerdo en el lugar donde se realiza cada observación o descripción de perfil.**

Si existe una clave de clasificación para el sistema, este paso no debería ser difícil. Pero en la práctica:

1. No todos los edafólogos en campo concuerdan si una propiedad se encuentra en los límites de la clave.

Por ejemplo, el sistema de clasificación Holandes habla de “morfología Podzol obvia”; esto es lo suficientemente claro para los clásicos “podzoles”, pero como esto también califica a individuos con una baja expresión morfológica, la pregunta surge, ¿dónde dibujamos el límite entre “obvio” y “no obvio”?

Incluso utilizando los llamados límites “cuantitativos”, existiran dificultades, por ejemplo un color que se encuentra en el límite entre dos matices.

2. La clave es ambigua

Aun dentro la clave taxonomica existe lugar para la interpretación. Un buen ejemplo es la definición del horizonte argílico. Si los edafólogos en campo piensan que el pedon ha sido truncado, no se requiere la presencia de un horizonte eluviado y un incremento específico de arcilla. La decisión respecto a si el suelo es truncado esta basada en la evidencia de campo, no solo en el sitio de descripción sino en la catena (¿existe evidencia de una acumulación reciente de sedimento en el pie de la ladera?) o para toda el area (¿podemos encontrar perfiles de suelo truncados alrededor de areas boscosas en diferentes posiciones de la ladera?) o incluso en un registro historico.

3. Aunque la clave sea clara, la observación o descripción no se ajusta al concepto de taxon.

La Taxonomía de Suelos permite la clasificación de cualquier suelo; sin embargo, una aplicación ciega de la clave puede llevarnos a la agrupación de una perfil con suelos que son completamente diferentes en cuanto a sus propiedades, geografía, manejo, etc. En este caso, la clave presenta fallas; no podemos cambiar la clave o añadir clases sin buena evidencia, pero puede pasar.

4. La clave no esta completa.

En algunos casos, la clave no esta completa a proposito. No todas las combinaciones de las propiedades son esperadas en la naturaleza, por lo que se dejaran "huecos" en el sistema de clasificacion.

En una Clave de Series, la mayoría de los espacios para caracteres dentro una Familia no estan ocupados por una Serie. Recuerde que una serie debe ocupar una porcion significante de tierra. Los pedones individuales no deben encajar al concepto de Series en todas sus propiedades.

Note que la Taxonomia de Suelos esta completa hasta el nivel de Familia, es decir, todos los individuos suelo pueden ser clasificados hasta el nivel de Familia, asi este problema no se presenta hasta el nivel de Serie.

En algunos levantamientos talvez no haya una verdadera clave, pero al menos **conceptos centrales y rangos**. Este es el caso comun de las Series de suelo. Incluso en USA, los limites de las series deben estar en los limites de la familia, pero los limites entre series que compiten no son firmes.

7.1.3 Estableciendo categorías taxonómicas nuevas

Cuando el que realiza la correlacion siente que existen areas de suelo significantes que no se ajustan adecuadamente al sistema de clasificacion actual, se proponen nuevas categorías taxonomicas. El proceso de correlacion utiliza las observaciones de campo para decidir los límites de la nueva taxa y su relacion a la taxa existente.

Lo mas comun en el mapeo detallado es el establecimiento de nuevas series de suelo, esto debido a las diferencias consistentes con las series existentes. En esta etapa es importante consultar a edafologos con mucha experiencia en areas similares, para ver si de hecho las nuevas series propuestas son un concepto nuevo. Una serie puede ser establecida localmente sin apelar a una autoridad superior (por ejemplo de la USDA). **Sin embargo**, puede ser que una serie apta ya haya sido establecida en algun otro lugar. Por ejemplo, muchas series de suelo descritas en Cuba alrededor de los 1920's tambien se presentan en La Española y Puerto Rico.

En algunas areas alrededor del mundo, los suelos no han sido estudiados, es asi que podemos pensar en nuevas categorías en un esquema de clasificacion jerarquica como la Taxonomia de Suelos. Por ejemplo, la 8^{va} revision de la Clave Taxonomica tiene una nueva orden que corresponde a los Gelisoles, referido a suelos permanentemente congelados; previamente estos fueron clasificados a nivel de subgrupo como Cryic dentro los diferentes Ordenes, y en algunos caso no fueron clasificados.

En otras areas, los suelos son mejor entendidos y una nueva jerarquia parece ser la que mejor puede agrupar estos suelos de características similares. Como ejemplo tenemos la revision principal de los Aridisoles en la 6^{ta} version de la Clave Taxonomica. Previamente, los Aridisoles fueron primero agrupados bajo el criterio de si tenian un horizonte argilico o no (Argids o Orthids); después estudiando estos suelos con mayor énfasis, un comité decidio que la presencia de cualquier tipo de sal y/o mineral principal es la mejor forma de agrupar Iso Aridisoles al nivel superior (es decir, Salids, Calcios, Gypsids,.....), y que la presencia de un horizonte argilico es considerado si es queno ubiese presencia de los elementos anteriores.

La revisión de la taxonomía de suelos no es una decisión trivial. Muchas bases de datos existentes son afectadas. Ellas son revisadas según los nuevos estándares, o son estampadas con la fecha de su creación, de esa forma, los nombres tienen sus significados para esa fecha y no para las revisiones posteriores.

7.1.4 Estableciendo una leyenda de mapeo

En un área de estudio generalmente se presentan más taxas de las que se mapean. Solo podemos mapear suelos con una extensión suficiente y una coherencia espacial, no perfiles de suelos aislados. De esa forma, una de las tareas principales del que realiza la correlación es establecer un conjunto de clases dentro las cuales todas las delineaciones serán asignadas. Esta es la **leyenda de mapeo** para el área de estudio.

Ejemplo: Condado de Edgecombe, NC, USA. Manchas de suelos Orangeburg (horizontes argílicos de color rojo claro 5YR), ocurren dentro áreas grandes y contiguas a los suelos similares Norfolk (horizontes argílicos amarillo-rojizos, 7.5YR a 2.5Y). Es una decisión de correlación que las series Orangeburg aunque estén presentes, no sean mapeadas. La decisión posterior de correlación, será incluir los pedones Orangeburg con los pedones Norfolk como suelos similares, con el propósito de establecer unidades de mapeo. Note que en otras áreas de estudio, los suelos Orangeburg se presentan con mayor incidencia y son fácilmente mapeables, en tal caso, se los utiliza como una clase en la leyenda de mapeo.

¿Cómo se establece la leyenda de mapeo?

Opcion1: a partir de mapeo detallado en áreas de muestreo

Si el área y la posible taza son bien entendidas, el edafólogo experto mapeará a detalle áreas de muestreo “representativas”, tal vez a 4x de la escala de publicación (es decir, para un mapa a escala de 1:50000, a 1:12500), para que así el área escala sea 16x. Este nivel de detalle permite la confirmación de un modelo mental detallado.

Opcion2: a partir de observaciones durante un levantamiento de rutina

Los límites son delineados a partir de características externas y puntos de observación. Después de una cierta cantidad de mapeo, debe estar claro cual es el concepto central de la unidad de mapeo, cual es el rango natural de las características, y cuales son las inclusiones comunes.

7.1.5 Localizando delineaciones en una categoría de leyenda correcta

Este aspecto de correlación es la asignación consistente de delineaciones reales a unidades de mapeo (categorías de leyenda). En la mayoría de casos, las unidades reales de paisaje no serán taxonómicamente puras. La “mejor” asignación es aquella que hace que el usuario del mapa se confunda menos.

7.2 Límite, contenido y exactitud de ubicación de puntos

Podemos distinguir diferentes y variados conceptos de “exactitud”, todos relevantes a expresiones específicas acerca del suelo o tierra objeto de mapeo.

Exactitud del límite

¿Estarán los límites correctamente ubicados? ¿Será la geometría de los polígonos lógica?

Exactitud del contenido

¿Está el contenido de cada unidad de mapeo correctamente descrito? ¿Cuán exactas son las expresiones o frases respecto al porcentaje de composición de la unidad de mapeo? Esta pregunta es cubierta en el acápite anterior “Estimando la composición de la unidad de mapeo”.

Exactitud del punto

¿Cuán exactas son las expresiones respecto a los puntos de observación individuales?

7.3 Tipo de variables

Antes de hablar del éxito de un levantamiento de suelos, necesitamos entender el tipo de información que es recolectado por el levantamiento. Primero, una clasificación de las Características de la Tierra relacionados al suelo, y como ellas pueden ser caracterizadas estadísticamente. Esta parte es cubierta por muchos autores, los cuales siempre utilizan una terminología un poco diferente, por ejemplo [8]. Estas son distinciones muy importantes ya que ciertas operaciones y estadísticas son solo significativas para ciertos tipos de variables.

Nominal: los valores vienen de un conjunto de *clases no ordenadas* (por ejemplo, tipo de estructura de un horizonte dado {masiva, grano suelto, bloques angulares, prismática.....}). Podemos simplemente determinar la *igualdad*, no categorizar. La única medida estadística que tiene sentido es la *moda* (valor más frecuente). No existe un estimado real de dispersión. Note que por comodidad, las clases pueden ser enumeradas, pero estos números no pueden ser usados para ningún cálculo.

Ordinal: los valores vienen de un conjunto de *clases ordenadas*. Las clases son usualmente enumeradas, por ejemplo {1,2....n} lo que muestra una categorización, pero no existen unidades de medida reales, simplemente clases de números que representan una categorización. (por ejemplo, grado de estructura de un horizonte dado: {ninguno, muy débil, débil.....muy fuerte}). Podemos determinar la *igualdad* así como también podemos *categorizar* (más grande que, menor que). La moda también es útil, pero ahora también la mediana (como una clase número). También podemos medir el *rango*, es decir cuántas clases.

Intervalo: valores medidos en una escala *continua* y las unidades de medición tienen significado, sin embargo, no existe un *origen natural* de la escala, es decir, el cero es arbitrario y no representa un valor “nada” real (por ejemplo, la Temperatura en °C). Así, el radio entre dos valores no tiene significado o valor. No podemos decir “hoy día es dos

veces mas caliente que ayer, ya que hoy la temperatura es 20°C y ayer fue de 10°C”; esa frase es matemáticamente correcta pero solo porque la naturaleza arbitraria de la escala Centigrado. Podemos ver esto convirtiendo a grados Fahrenheit: 68°F no es el doble de 50°F. La *moda* no es util, ya que los valores son continuos; la *mediana* es significativa y tambien ahora la *media*. Para medir la dispersión, podemos aun usar el *rango*, pero ahora tambien la *varianza & la desviación estandar*.

Ratio: los valores son medidos en una escala *continua*, y las unidades de medicion son significativas y utiles, y tambien en este caso existe un origen natural de la escala, es decir, *el cero no es arbitrario*, pero establecido a partir de principios (es decir, la Temperatura en °K, %de arena fina, rendimiento de un cultivo). Aui el “cero” realmente significa “nada” o el “punto de partida”. Asi, el *radio* de dos valores es significativo. Podemos decir “este suelo presenta el doble de rendimiento en comparación a otro suelo”. La *moda* ya no es util, ya que los valores son continuos; la *mediana* es significativa, asi como la *media*. Para medir la dispersión, podemos aun utilizar el *rango*, tambien la *varianza & desviacion estadar*, y como el cero aquí es el verdadero cero, el *coeficiente de variación* es muy significativo. (Recuerde: $CV=DS/Media$; esto es el radio).

Intervalo o radio clasificado: los valores vienen de un conjunto de clases ordenadas, definidas por los límites de clase de la escala del intervalo o radio. (por ejemplo, clases de temperatura). Estas son tratadas como características de la tierra ordinales. Si los rangos de la clase son iguales (es decir, (0-10), (10-20),....) estas pueden ser tratadas como características de la tierra de intervalo con resolucion integral; si adicionalmente la escala es radio, las clases pueden ser tratadas como características de la tierra con resolucion integral.

7.4 ¿Cuan exitoso fue el levantamiento de suelos?

Si nosotros vemos al levantamiento de suelos como una herramienta para la estratificación y prediccion del paisaje, podemos preguntar en terminos cuantitativos, “¿cuan exitoso fue el levantamiento en relacion a sus objetivos?”. Esto no es lo mismo que preguntar ¿este sera el mejor levantamiento posible? O ¿cuan exacto fue el levantamiento?. En este caso, juzgamos directamente el levantamiento de suelos.

El criterio del mapeador: ¿cuan bien se encuentran las unidades de suelos separadas en el mapa?

El mapeador o edafologo puede juzgar su propio esfuerzo preguntandose **cuan bien los diferentes suelos fueron separados en el mapa**, es decir, si la estratificación propuesta por el mapeador es satisfactoria. Existen dos formas de ver el éxito del mapeo:

- Pureza de la clasificacion
- Eficiencia de la estratificación

En el primer caso, el mapeador quiere saber si los suelos similares fueron agrupados juntos de acuerdo a un sistema de clasificacion. Sin embargo, esto puede dar un falso énfasis a la clasificacion, la cual puede no necesariamente utilizar propiedades edafologicas importantes.

Así, en el segundo caso, el mapeador quiere saber cuán bien las propiedades de los suelos fueron separadas en el mapa. Aquí el énfasis es en el mapeador: ¿el/ella hizo el mejor trabajo posible en la separación de **caracteres en el espacio multivariado**? Aquí pensamos en el suelo como la recolección de **características de la tierra** medibles como se explicó anteriormente.

Consideraremos tres enfoques cuantitativos:

- Características simples, dos delineaciones
- Características simples, sobre un mapa entero
- Multi-características

7.4.1 Características simples, dos delineaciones

Para ilustrar cómo los métodos cuantitativos pueden ser utilizados para juzgar la efectividad del levantamiento de suelos, comenzamos con el ejemplo más simple: el mapa está dividido en dos partes por una simple línea límite.

Considere un área hipotética con dos suelos fuertemente contrastantes: (1) leve de textura liviana, (2) basín de decantación de textura pesada. Suponga que estos suelos se presentan u ocurren en cuerpos naturales suelo alargados, alienados paralelamente al eje del río, y que cada uno ocupa 50% del área total. Evaluaremos el efecto del mapeo de esta área de dos formas:

1. con dos delineaciones “correctas”, siguiendo los cuerpos naturales suelo;
2. con dos delineaciones “incorrectas”, cruzando los cuerpos naturales suelo

Situación 1: delineación “correcta”

Suponga que tomamos 20 muestras sin sesgo en este paisaje, 10 en cada uno de los cuerpos naturales suelo, y que los datos del contenido de arcilla (%) son los siguientes:

Unidad de mapeo 1 (correcta): (4, 6, 6, 8, 8, 8, 8, 10, 10, 12); n=10

Unidad de mapeo 2 (correcta): (56, 58, 58, 60, 60, 60, 60, 62, 62, 64); n=10

Estos números son “cocinados” de forma tal que la unidad correcta UM2 siempre tiene 52% de arcilla más que la unidad correcta UM1.

Tenemos dos aplicaciones del levantamiento de suelos (puntos de muestreo y mapa):

1. queremos predecir para cualquier lugar, su contenido de arcilla. Hacemos esto siguiendo (1) determinando en qué unidad de mapeo se encuentran los puntos, (2) utilizando la estadística de las muestras de esa unidad de mapeo para predecir su valor. Así, cada punto en la unidad de mapeo recibirá el mismo estimado (este no es un estimado geo-estadístico), basado en el mapa y la muestra. La pregunta es, ¿cuál es el rango de los posibles valores de la muestra?
2. Adicionalmente, queremos estimar la media del contenido de arcilla para cada unidad de mapeo. Este análisis sigue el capítulo 3 de “Sampling & Estimation” de Webster & Oliver [56]. Consiste en un simple uso de estadística descriptiva y

estima intervalos de confianza que pueden ser encontrados en casi todos los textos de estadística elemental.

Primero, examinaremos estos con un diagrama tallo-hoja [35], con un tamaño de 1:

<u>Unidad de Mapeo 1</u>	<u>Unidad de Mapeo 2</u>
0 4	
0 6 6	
0 8 8 8 8	
1 0 0	
1 2
....
....	5 6
	5 8 8
	6 0 0 0 0
	6 4

Este tipo de diagrama es una suerte de histograma. Podemos ver por inspección que estos están distribuidos simétricamente, con un valor **modal** claro (8 y 60 respectivamente) en el medio de la distribución. La moda en este caso es también la **mediana**. Las dos distribuciones **no se superponen**, lo que sugiere que vienen de dos poblaciones diferentes. Las distribuciones son **unimodales** (un pico), en la moda. Ellas tienen la misma varianza. Son ciertamente “lo suficiente normal” para calcular la media y varianza, que son aproximadamente:

(**Apunte:** \bar{x} = media de la muestra; s^2 = varianza de la muestra, s = desviación estándar de la muestra; S_x = error estándar de la media; n = número de muestras; CV = coeficiente de variación).

Unidad de Mapeo 1: $\bar{x} = 8$, $s^2 = 5.33$, $s = \sqrt{5.33} = 2.31$; $S_x = s / \sqrt{10} = 0.73$; $CV = s / \bar{x} * 100 = 29\%$

El CV es algo alto porque la media es muy baja. Con solo 8% de arcilla como media, incluso una baja varianza lleva a una relativa variación alta, que es lo que el CV mide.

Los límites de confianza del valor: $\bar{x} \pm t * s$ para $(n-1) = 9$ grados de libertad. Refiriéndonos al valor en las tablas-t, para un nivel de confianza de 80% encontramos que $t = 1.383$, por lo que los límites de confianza para la Unidad de Mapeo 1 son:

$$8 \pm (1.383 * 2.31) = (4.8 \dots 11.2) \%$$

Es un rango limitado. Significa que, **basados en nuestras muestras, es 80% probable que una muestra al azar de la Unidad de Mapeo 1 tendrá el valor de contenido de arcilla en el rango (4.8%.....11.2%)**.

Pregunta: ¿sera este un rango suficiente para hacer interpretaciones? Probablemente no, en muchos casos: la influencia en la retencion de agua y nutrientes, cohesividad y plasticidad, etc.; es significativa cuando vamos de 5% a 10% de arcilla.

Limites de confianza sobre la media: $x \pm t * Sx$ para $(n-1) = 9$ grados de libertad:

$$8 \pm (1.383 * 0.73) = (7...9) \%$$

Este es un rango muy estrecho. Significa que basado en nuestra muestra, es 80% probable que la verdadera media o promedio para la unidad de mapeo 1 caiga en el rango de contenido de arcilla (7%....9%).

Unidad de Mapeo 2: $x = 60$, $s^2 = 5.33$, $s = \sqrt{5.33} = 2.31$; $Sx = s / \sqrt{60} = 0.29$; $CV = s / x * 100 = 4\%$

$$60 \pm (1.383 * 2.31) = (56.8...63.2) \%$$

$$60 \pm (1.383 * 0.29) = (59...61) \%$$

El CV es algo bajo porque la media es alta (60% de arcilla) y la varianza es baja; esto nos lleva a una relativa baja variación. Note que en este ejemplo, la misma varianza (y de aquí el mismo rango de los intervalos de confianza) lleva a dos CV muy diferentes, dependiendo en la media.

Aparte del CV, los mismos comentarios que se hicieron en la UM1 se aplican aquí.

Pregunta: ¿seran los valores para los intervalos de confianza (56...63%) un rango suficiente para hacer interpretaciones? Probablemente es; aunque la arcilla puede variar a traves de un rango de 7%, la diferencia en la retencion de agua & nutrientes, cohesividad y plasticidad, etc no sera significativa, ya que al rango minimo se tiene alta cantidad de arcilla y en el limite superior no es proporcionalmente muy alto.

Por tanto, vemos que el CV en este caso lleva a una conclusion similar como la consideración directa de los intervalos de confianza (rango de probables valores).

La estadistica confirma que tenemos dos unidades de mapeo bien definidas. Particularmente desde que los intervalos de confianza para las dos medias no se sobreponen, podemos concluir que las medias son significativamente diferentes al nivel de probabilidad seleccionado (80%); actualmente a cualquier nivel en este caso. Podemos confirmar esto directamente a traves de una prueba de doble de muestreo t, la cual da 99% de intervalo de confianza para la diferencia entre las dos medias de (48.7.....55.3), centradas sobre la diferencia de muestras entre las medias de 52%.

Situación 2: delineación "incorrecta"

Ahora, compare esto a la situación donde no delimitamos correctamente las geoformas, pero en lugar de ello dibujamos una linea a traves del paisaje (sin respetar la relacion suelo-paisaje), de forma tal que las unidades de mapeo tienen igual numero de

observaciones para cada elemento del paisaje. En otras palabras, la línea no corresponde a las diferencias edafológicas. ¿Podemos decir esto a partir de un análisis estadístico? Sí, a continuación. Suponga que nuestra nueva línea separa las mismas muestras como sigue:

Unidad de mapeo 1 (incorrecta): (4, 58, 6, 60, 8, 60, 8, 62, 10, 64); n=10

Unidad de mapeo 2 (incorrecta): (56, 6, 58, 8, 60, 8, 60, 10, 62, 12); n=10

Primero, examinaremos estos con un diagrama tallo-hoja, esta vez con un tamaño de 10 (porque existe un amplio rango en ambas unidades de mapeo):

<u>Unidad de Mapeo 1</u>	<u>Unidad de Mapeo 2</u>
0 4 6 8 8	0 6 8 8
1 0	1 0 2
2	2
3	3
4	4
5 8	5 6 8
6 0 0 2 4	6 0 0 2

Podemos ver por inspección que estos datos **no** están sistemáticamente distribuidos, ellos no tienen un valor modal en el medio de la distribución; las distribuciones son **bi-modales** (dos picos). La mediana está por convención entre los valores 5^{to} y 6^{to}, $(10+58)/2 = 34$ y $(12+56)/2 = 34$; pero este valor no está ni siquiera cerca de cualquier valor actual. Las dos distribuciones **se superponen**. A este punto, podríamos detenernos y decir que definitivamente las dos unidades de mapeo no separan el contenido de arcilla. Pero para completar el ejercicio, continuaremos el análisis con la estadística de la muestra.

Calculando la estadística de la muestra, obtenemos:

Unidad de Mapeo 1: $\bar{x} = 35$, $s^2 = 802.6$, $s = \sqrt{802.6} = 28.3$; $S_x = s / \sqrt{10} = 8.96$; $CV = s / \bar{x} * 100 = 83\%$

Límites o intervalos de confianza sobre el valor:

$$34 \pm (1.383 * 28.3) = (-5.1...73.1)\%$$

que es demasiado amplio, casi absurdo. Esencialmente significa que no podemos decir nada útil respecto a una muestra al azar dentro de una unidad de mapeo (incorrecta).

Límites o intervalos de confianza sobre la media:

$$34 \pm (1.383 * 8.96) = (21.6...46.3)$$

lo cual es un rango muy amplio. Esto significa que basados en nuestra muestra, es 80% probable que la media verdadera para la unidad de mapeo 1 caiga en el rango (21.6%.....46.3%). Esto no es muy util.

Unidad de Mapeo 2: $x = 34$, $s^2 = 710.2$, $s = 26.65$; $Sx = 8.43$; $CV = s / x * 100 = 78\%$.

Límites o intervalos de confianza sobre el valor:

(-2.9...70.9)%

Límites o intervalos de confianza sobre la media:

(22.3...45.7) %

Ambos rangos son demasiado amplios por ende inútiles. Los coeficientes de variación indican ese alto grado de variabilidad dentro de la unidad de mapeo, que aseguran que esta unidad no es homogénea por ninguna medida. Podemos ver esto con un simple histograma, el cual nos muestra una distribución bimodal claramente.

Conclusion: delinear o dibujar un límite para separar las 20 muestras resulta en un dramático incremento en pureza y un dramático incremento en la precisión de predecir el valor promedio.

7.4.2 Utilizando ANOVA para calcular la efectividad de un mapa

Moviéndonos del simple caso del ejemplo anterior, necesitamos un método para evaluar la efectividad del mapa entero en la separación de propiedades del suelo.

Existe un método simple para determinar la eficiencia de la clasificación de las variables intervalo o radio, y es más o menos válido para radios e intervalos clasificados, y para valores ordinales: un **simple análisis de la varianza** (one-way análisis of variance) para calcular el **porcentaje del total de la varianza que es explicada por las clases**.

La idea básica es: *Varianza-total = varianza dentro la clase + varianza entre clases*. El éxito del mapa puede ser estimado por el radio: *varianza entre clases / varianza total*.

Primero veremos ANOVA para las características de la tierra continuas cuantitativas (intervalo radio). Esto es tomado en gran parte de Webster & Oliver [56] con un ejemplo para la clasificación de terreno.

El caso más simple es cuando queremos saber cuán bien una variable (pH, contenido de arcilla, límites de plasticidad.....) está separada en el mapa. Esto es examinado a través de muestreo a través del paisaje y clasificando las muestras de acuerdo a la unidad de mapeo en la que se encuentran ubicados, después analizando estos datos a través de la técnica que se presenta a continuación.

Nota: para obtener un estimado correcto del mapa entero, el muestreo debería ser al azar a lo largo de todo el mapa, es decir, que no sea afectado por el mapa. En la práctica esto es casi inusual, ya que el muestreo es generalmente con un propósito para caracterizar cada unidad de mapeo (por ejemplo, el muestreo en transectos). Sin

embargo, si todas las unidades de mapeo son muestreadas groseramente en proporción al área, la prueba ANOVA es aun válida.

Si utilizamos el sufijo *W* para simbolizar *dentro una clase* y *B* para simbolizar *entre clases*, podemos utilizar la **correlación intraclass** P_i para estimar la efectividad de la clasificación (es decir, el mapa).

$$\rho_i = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_B^2 + \sigma_W^2}$$

El valor máximo en el caso de un mapa perfecto es 1, el cual ocurrirá solo si las clases cuentan para toda la varianza: $\sigma_B^2=1, \sigma_W^2=0$. El mínimo valor es 0, el cual ocurrirá si no existe varianza entre-clases: $\sigma_B^2=0$; en este caso, el mapa no provee información útil. Aquí, el σ^2 son varianzas de la *población*, tenemos que *estimarlas* (utilizando el símbolo s^2 los estimados) de nuestras muestras. Veamos como se hace.

Podemos utilizar one-way ANOVA, ver por ejemplo Webster & Oliver [56] y muchas otras fuentes para estimar estas varianzas. Aquí las clases son las unidades de mapeo del levantamiento, así que cada observación cae en una clase. De la tabla ANOVA obtendremos los estimados:

B: varianza **entre-clases** (estimada a través de la Media Cuadrada de **entre-clases**)

W: varianza **dentro-clases** (estimada a través de la Media Cuadrada de **dentro-clases**)

T: **varianza total** (estimada a través de la Media Cuadrada **total**)

Veamos como.

Considere un conjunto de datos de *N* puntos (observaciones) *x* dividido dentro las clases *k* (1, 2, ..., *i*, ..., *k*). Estas clases son las unidades de mapeo (estratos). Cada dato puntual tiene un cierto enumerado arbitrario {1, 2, ..., *j*, ..., *n*} en su clase *i*, entonces podemos referirnos al dato puntual como x_{ij} , es decir el punto *j*th en la clase *i*th (unidad de mapeo suelo).

La muestra completa tiene alguna **varianza total**; calculada como la Media Cuadrada Total *T*:

$$s^2_T = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x})^2 = T$$

Esta fórmula es la media cuadrada total de todas las observaciones. Note que las diferencias cuadradas miden cuán lejos cada observación está de la **gran media**:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}$$

Cada clase tiene una **varianza dentro-clase**:

$$s^2_i = \frac{1}{n_i - 1} \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$$

En esta formula, las diferencias cuadradas miden cuan lejos la observación se encuentra respecto a la **media de la clase**.

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}$$

Esperamos que las varianzas dentro-clase sean cada una menor a la varianza total, es decir, que cada clase sea mas homogenea que el total muestreado.

Ahora, para evaluar la clasificacion, necesitamos estimar la **varianza total dentro-classes**, es decir, combinando las varianzas dentro-classes de todas las clases dentro un estimado. En muchos casos (y por experiencia), podemos hacer la **suposición simplificada** que **todas las clases tienen aproximadamente la misma varianza**. Entonces, podemos obtener un estimado de la **varianza dentro-clase combinada**.

$$s^2_W = \frac{1}{N - k} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 = W$$

Note que la diferencia cuadrada atribuida a una observación esta ahora dentro su clase. El denominador $(N-k)$ es el numero de grados de libertad *no* tomado por el sistema de clasificacion (es decir, la estratificacion). Esto es exactamente la media cuadrada dentro-clase estimado por ANOVA.

Finalmente, queremos estimar cuanta varianza es removida por la clasificacion. Esto es la **varianza entre-classes**:

$$B = \frac{1}{k - 1} \sum_{i=1}^k (\bar{x}_i - \bar{x})^2$$

Aquí vemos que el numero de grados de libertad tomados por el sistema de clasificacion es $(k-1)$, es decir, uno menos que el numero de clases. Como chequeo, anadimos el numero total de grados de libertad: $(N-k) + (k-1) = N - 1$ como se espero.

La primera cosa que podemos hacer con esta prueba de ANOVA y el **test F** sobre el radio B/W con $(k-1, N-k)$ grados de libertad. Esto testea el radio de las dos varianzas para ver si ellos aparecieron solo por chance. Si la prueba de F es significativa a cualquier nivel p , podmos concluir que la clasificacion es estadísticamente significativa al mismo nivel p . Si no, no se justifica mayor analisis.

Un simple estimado de la varianza no tomado en cuenta por la estratificación es el radio de la varianza dentro-clases remanente W al total de la varianza T . Esto es algunas veces llamado *varianza relativa* y es calculada como:

$$s_W^2 / s_T^2 = W / T$$

En el caso ideal, este sera 0, es decir, no se deajo varianza dentro las clases. Asi, **estimamos la proporcion de la varianza tomada en cuenta por la clasificacion** como el complemento de ese radio:

$$1 - (s_W^2 / s_T^2) = 1 - (W / T)$$

Ajustando el estimado

(Esta seccion puede ser omitida en la primera lectura).

Este estimado (el complemento de la varianza relativa) puede ser utilizado para una primera aproximación del éxito de la clasificacion. Sin embargo, comúnmente no es el fin de la historia.

De acuerdo a Webster & Oliver, este estimado solo es valido si la media verdadera de las clases μ_i son iguales, en el caso de $\sigma^2_T = \sigma^2_W$ y estos son estimados independientemente por s^2_T y s^2_W , es decir T y W . En el caso de las unidades de mapeo suelo es algo improbable que las medias sean iguales, de hecho expectamos unidades de mapeo que tengan medias diferentes para la mayoría de propiedades de los suelos (ahí el porque las separamos!).

Si las medias no son iguales (el caso mas comun), B como se definio anteriormente estima no solo la varianza entre-clases σ^2_w , sino tambien una contribución de la varianza entre-clases, específicamente las varianzas de muestreo de las varias medias de clases. En otras palabras, B es demasiado grande, por lo que el éxito actual de la clasificacion sera aldo sub-estimado. El verdadero estimado de la varianza entre-clases es:

$$s_B^2 = (B - s_W^2) / n_0$$

Donde s^2_w es estimado por W , y n_0 es un promedio pesado del numero de muestras en cada clase:

$$n_0 = \frac{1}{k-1} (N - (\sum_{i=1}^k n_i^2 / N))$$

Si existe el mismo numero de muestras n en cada clase (es decir, en cada unidad de mapeo), esto se reduce simplemente a n .

Con este estimado de la varianza entre-clases B , estimamos la **correlacion entre-clases** a traves de:

$$r_i = \frac{s_B^2}{s_B^2 + s_W^2} = \frac{B - W}{B + (n-1)W}$$

Donde la ultima expresión viene directamente de la tabla de ANOVA. Recuerde (a un principio de esta seccion) que este valor sera 1.0 para una perfecta clasificacion, 0.0 para una clasificacion muy mala.

Es probable pero no obvio el porque tenemos que ajustar la varianza relativa en el caso que la media de las clases no sea igual: podemos ver porque es necesario con un simple ejemplo. Suponga que existen solo dos clases con un media ampliamente separada. Utilizando los mismos datos “cocinados” de las dos unidades de mapeo del caso anterior, obtuvimos la siguiente tabla ANOVA:

SOURCE	DF	SS	MS	F	P
classes	1	13520.00	13520.00	2112.50	0.000
ERROR	18	115.20	6.40		
TOTAL	19	13635.20	717.64		

Utilizando la terminología de esta seccion, tenemos $T = 717.64$; $B = 13.520$; $W = 6.4$. La varianza relativa es $W/T = 0.89\%$, la cual es demasiado baja, y por la medida simple, la clasificacion explica 99.11% de la varianza total. Sin embargo, utilizando la correlacion intraclase, tenemos $r = 1.0$, lo cual de hecho corrige:

Las clases explican toda la diferencia, ya que no existe sobreposicion entre ellas. En este caso, la correccion es minima.

7.4.3 Clasificación Multivariada

Una situación mucho mas complicada es cuando queremos saber cuan bien el mapa separa los suelos en un espacio multivariado, es decir, considerando todas las variables juntas. Una forma es evaluar un numero de variables e forma separada y calcular una medida compuesta, por ejemplo, el promedio \bar{r}_i . Pero esto ignora las correlaciones entre variables. Por lo que un mejor metodo son las técnicas de estadística multivariada. El lector interesado puede referirse a Webster & Oliver [56], capitulos 7 y 9.

El criterio del usuario: ¿cuán bien es la performance de la tierra representado o separado en el mapa?

Mirando al punto de vista del usuario, Byrd [17] establece “la prueba de exactitud es y debe ser esta: ¿será el levantamiento de suelos convertido en un mapa interpretativo correctamente?”. En otras palabras, el usuario no se preocupa particularmente si producimos un mapa de suelos correcto; el usuario esta interesado en el mapa interpretativo o en las interpretaciones que puede realizar para un uso de la tierra particular.

Así, podemos usar las mismas técnicas desde el punto de vista del usuario. Aquí la variable es en algo una variable respuesta, por ejemplo, rendimiento del cultivo, fecha de siembra,.....en lo que el usuario esta interesado. Esta respuesta tiene que ser medida en muchos puntos y clasificada por unidad de mapeo, es ahí que tambien podemos usar ANOVA como se explico anteriormente.

Complicación: la respuesta, como el rendimiento de cultivo, puede ser influenciada por variables que no fueron medidas en el levantamiento de suelos. En particular: clima &

manejo. Una forma de analizar esto es a través de una prueba ANOVA de dos entradas (**multi-way ANOVA**), utilizando regiones climáticas, niveles de manejo y finalmente clases de suelos como los factores.

Este análisis es interesante en otras formas. Particularmente, muestra que factores son los más importantes para la respuesta. En algunos casos, el suelo puede ser muy importante, en otros casi nada. Incluso si otro factor es dominante, las clases de suelo pueden variar significativamente dentro de una o más clases del otro factor. También, el **termino de interacción** de ANOVA puede mostrar si las diferentes clases de suelos se comportan diferentemente en las diferentes clases del otro factor. Por ejemplo: suelos con alta capacidad de retención de agua / baja conductividad vs. Suelos con baja capacidad de retención de agua / alta conductividad, comparados en climas muy húmedos y muy secos. Esto debería mostrar un fuerte efecto de interacción para el rendimiento de cultivos a secano.

7.5 Métodos para evaluar la exactitud de un levantamiento de suelos

Esta sección es algo especulativa; sin embargo, considero que es prominente. Es un intento de aplicar métodos de evaluación de exactitud prestados de la clasificación de la cobertura de la tierra al levantamiento de suelos.

La idea básica es comparar la clasificación predecida de cada sitio con la clasificación actual descubierta en el *trabajo de campo*. Una buena revisión de métodos en el contexto de la clasificación de la vegetación es dada por [18]: las mismas técnicas pueden ser aplicadas para evaluar los levantamientos de suelos.

Se pueden distinguir cuatro tipos de información de exactitud:

1. *Naturaleza* de los errores: ¿qué tipos de información están confusos?
2. *Frecuencia* de los errores: ¿cuán seguido ocurren?
3. *Magnitud* de los errores: ¿cuán mal son ellos? Es decir, confundir bosque primario con bosque secundario no es tan "malo" como confundir agua con bosque; confundir suelos similares (que comparten los límites de clases) no es tan "malo" como el error de confundir suelos completamente diferentes.
4. *Fuente* de error: ¿por qué ocurren esos errores? Esto nos permite refinar la metodología de levantamiento.

La Matriz de Confusión

El analista selecciona una muestra de puntos mapeados (pedones) y después visita los sitios (o viceversa), y construye una *matriz de confusión*. Esto es utilizado para determinar la *naturaleza* y *frecuencia* de los errores.

Definiciones:

Columnas = datos de campo (se asume que sean correctos)

Filas = datos del mapa (clasificados por el procedimiento de mapeo)

Celdas de la matriz = conteo del numero de observaciones para cada combinación (campo, mapa).

Elementos diagonales = acuerdo entre el campo y el mapa; lo ideal es una matriz con todos los valores diagonales que no sean 0.

Errores de omisión (exactitud del productor del mapa) = *incorrecto en columna / total en columna*. Mide cuan bien el mapeador ha sido capaz de representar los elementos de la vida real. Una baja exactitud por parte del productor del mapa significa que no represento o no mapeo una clase que esta actualmente presente en el paisaje.

Errores de omisión (exactitud del usuario del mapa) = *incorrecto en fila / total en la fila*. Mide cuan probable el usuario del mapa es para encontrar infomacion correcta mientras usa el mapa. Una baja exactitud del usuario significa que el usuario que busca una clase particular como fue mapeada, no encontrara la clase en los puntos dentro el paisaje donde esta predecido que ocurra.

Exactitud general del mapa = *total en la diagonal / total general*

Una prueba estadística de la exactitud de la clasificacion para todo el mapa o para celdas individuales es posible utilizando el indice de acuerdo *Kappa*. Esto es como una prueba χ^2 excepto que toma en cuenta el acuerdo de cambio, es decir, la posibilidad de que tengamos una clasificacion correcta simplemente por chance. Esto es como corregir la marca en una prueba hecha de preguntas verdadero/falso para considerar el hecho de que esperamos 50% si el estudiante simplemente responde cada pregunta al azar. Una interesante introducción a la estadística es presentada por Lillesand & Kiefer [42].

Conceptualmente, *Kappa* puede definirse como:

$$\hat{k} = \frac{\text{exactitud observada} - \text{oportunidad de acuerdo}}{1 - \text{oportunidad de acuerdo}}$$

Es calculada a partir de la matriz de confusión como sigue:

$$\hat{k} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} x_{+i})}$$

donde r es el numero de filas (& por tanto columnas) en la matriz, x_{ii} es el conteo en una celda diagonal donde la fila y columna i se unen (es decir, clasificaciones correctas), x_{i+} es el total de la fila, x_{+i} es el total de la columna, y N es el numero total de observaciones.

Ejemplo de una matriz de confusión

		Ground			<i>Total</i>
		A	B	C	
Clasificación del mapa	A	10	2	3	15
	B	0	20	0	20
	C	4	1	10	15
	<i>Total</i>	14	23	13	50

Exactitud general: $(10+20+10)/(10+2+3+0+20+0+4+1+10) = 40/50 = 80\%$

Exactitud estimada por *Kappa*:

$$\hat{k} = \frac{50 \cdot (10 + 20 + 10) - ((14 \cdot 15) + (20 \cdot 23) + (15 \cdot 13))}{(50)^2 - ((14 \cdot 15) + (20 \cdot 23) + (15 \cdot 13))} = \frac{2000 - 865}{2500 - 865} = 0.694 = 69.4\%$$

Note que esta es un poco mas baja que la evaluación de la exactitud simple. Es una medida mas confiable de cuan buena la exactitud es en realidad. Adicionalmente, Kappa puede ser usada como prueba de significancia en varias pruebas estadísticas.

Error de comision para la clase A: $(2/3)/(10+2+3) = 5/15 = 33\%$ de error; en esta proporcion de espacio que es mapeada la clase A, el usuario del mapa no encontrara la clase mapeada en terreno, es decir en la realidad.

Error de omisión para la clase A: $(0+4)/(10+0+4) = 4/14 = 29\%$ de error; en esta proporcion de espacio actualmente ocupado por A, el usuario del mapa quien encuentra esta clase en el campo no la vera exactamente representada en el mapa.

Complicación: unidades de mapeo compuestas

¿qué pasara si mas de un suelo es nombrado en una unidad de mapeo?

Enfoque 1: aceptar cualquier suelo nombrado como "correcto".

Enfoque 2: insistir en proporciones correctas.

Evaluación de la exactitud Fuzzy

Existe un problema fundamental con la matriz de confusión: los datos de campo puede que no sean simplemente "correctos" pero "algo correctos"...un problema de la clasificación. [32] provee una buena introducción a este problema y al uso de la teoría fuzzy sets para resolverlo.

Idea básica: un experto puede clasificar datos de terreno utilizando variables lingüísticas a una escala de 1-5: (1) completamente erróneo, (2) entendible pero erróneo, (3) razonable, aceptable pero existen mejores respuestas, (4) buena respuesta, (5) completamente cierto. Así la matriz de confusión se expande a responder dos preguntas más precisas:

- (1) ¿cuán frecuente es la categoría de mapa la mejor opción?
- (2) ¿cuán frecuente es la categoría de mapa aceptable?

Varias medidas de corrección fuzzy pueden ser construidas para responder estas preguntas.

En el contexto del levantamiento de suelos, la respuesta (5) significa que el mapa y la observación de campo están en la misma clase; (4) que ellos son diferentes pero clases similares con pocas diferencias, (3) que están en clases diferentes y disimilares, separadas por un límite de clase, etc.

Un *conjunto difuso (fuzzy set)* A sobre un universo de posibles miembros X , consiste de miembros, un miembro genérico etiquetado como a lo largo de un *grado de membresía* para cada miembro x , definido ya sea por enumeración o por una función:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\}$$

donde la función de membresía $0 \leq \mu_a(x) \leq 1$. Intuitivamente, 1 = totalmente en el conjunto, 0 = totalmente fuera del conjunto. Los conjuntos de datos difusos tradicionalmente solo permiten valores de 0 a 1, correspondiendo a falso/verdadero, dentro/fuera, erróneo/correcto, etc.

En el contexto de la evaluación de la exactitud de un mapa:

X es el conjunto de evaluación de sitios, es decir, polígonos o píxeles donde compararemos los valores mapeados y los actuales.

Existe un conjunto difuso separado A_c para cada clase $c \in C$, donde C son las clases, por ejemplo, para un conjunto de seis series posibles $C = \{\text{"Norfolk"}, \text{"Goldsboro"}, \text{"Lynchburg"}, \text{"Rains"}, \text{"Wagram"}, \text{"Pantego"}\}$. Note que esto implica que un sitio dado puede ser asignado a más de una clase, con diferentes grados de corrección. Esto reconoce que los límites absolutos de la Taxonomía de Suelos o series no son siempre medibles con precisión.

Suponga que tenemos cinco sitios de la evaluación de la exactitud: $X = \{a, b, c, d, e\}$

Entonces para las series Norfolk podemos tener $ANorfolk = \{(a, .5), (b, 0), (c, 1), (d, .75), (e, .25)\}$, donde la escala lingüística 1-5 ha sido transformada a una escala de membresía

0, .25, .5, .75, 1. Así, el sitio “b” no es absolutamente la serie Norfolk, el sitio “c” es indudablemente la serie Norfolk, si el sitio “d” fue clasificado como Norfolk será una respuesta buena pero la idea, etc.

Podemos ver cuán cerca están estos sitios respecto a otras series, por ejemplo $AGoldsboro = \{(a,.75), (b,.25), (c,.75), (d,1), (e,.5)\}$.

Para medir la magnitud de los errores, podemos definir una función a ser evaluada para cada sitio x :

$$\Delta(x) = \mu_{\chi(x)}(x) - \max_{C \in \mathbf{C}, C \neq \chi(x)} \mu_C(x)$$

donde $-4 \leq \Delta(x) \leq +4$, si las variables lingüísticas están en el rango 1 a 5. ± 4 indica la máxima desviación, 0 es un acuerdo perfecto. Estos puntajes pueden ser usados para pesar la matriz de confusión o calcular otras funciones.

Pregunta: (1) ¿cuán frecuente es la categoría de mapa la mejor opción?

Respuesta: definir:

$$MAX(x, C) = \begin{cases} 1 & \text{if } \mu_x(x) \geq \mu_{c'}(x), \forall c' \in \mathbf{C} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Por ejemplo, $MAX(x, C)$ es 1 si C es la mejor respuesta entre las respuestas dadas. Entonces use MAX en la matriz de confusión.

Pregunta: (2) ¿cuán frecuente es la categoría de mapa aceptable?

Respuesta: definir:

$$RIGHT(x, C) = \begin{cases} 1 & \text{if } \mu_x(x) \geq \tau \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Donde τ es el *umbral* de “corrección”, seleccionado por el experto para corresponder a “suficientemente bueno”. Entonces use $RIGHT$ en la matriz de confusión. En el levantamiento de suelos, podemos definir $\tau = 0.75$, es decir, las series son similares.

7.6 Normas para evaluar la adecuación de un SRI

¿Cómo un **usuario** de la información proporcionada por un levantamiento de suelos puede decidir si el trabajo existente es satisfactorio o **adecuado** a sus necesidades?

Este fue el tema de trabajo en la década de lo 70 y 80, llevando a la realización de talleres en la Universidad de Cornell en 1977 y 1978, fruto de ello es la monografía que resume las conclusiones de estos talleres y donde se detalla una metodología para evaluar la adecuación de los levantamientos de suelos; texto que escribí en 1982 [31]. Este es esencialmente una mirada del usuario a los conceptos que estuvimos discutiendo previamente.

Propósito: permitir la evaluación externa del valor de un levantamiento de suelos

Existen cuatro componentes de adecuación:

1. Escala del mapa & textura
2. Leyenda del mapa
3. Calidad del mapa base
4. La realidad

8 Especificación y planificación de un levantamiento de suelos

El levantamiento debe ser costo/beneficio positivo. Requerimos un buen plan para que el presupuesto y la logística sean efectivos para garantizar un correcto y completo LRS. En esta unidad discutiremos las fases de un levantamiento de suelos, su planificación y al final una análisis de costos.

Referencias generales: [24, 25, 33, 40, 48, 57].

En terminos generales, las **etapas** en un tipico levantamiento de suelos son:

Nº	ETAPA	OBSERVACION
1	Necesidad de evaluacion	Quien requiere el levantamiento y por que?
2	Planificacion, terminos de referencia	Que tipo de unidades de mapeo, intensidad de observaciones, cronograma, personal.
3	Investigacion, recopilacion de datos	Informacion secundaria (suelos, geologia, vegetacion, clima, uso de la tierra, etc.)
4	Pre-mapeo	IFA preliminar, seleccion de areas de muestreo, mapeo detallado en areas de muestreo, decision en las categorias de la leyenda.
5	Mapeo de campo	Cobertura total del area, muestreo adicional.
6	Control de calidad	Incluye correlacion
7	Cartografia	Transformacion a una base geometricamente corregida, publicacion del mapa.
8	Interpretacion	Para Evaluacion de Tierras
9	Reporte	Tabla descriptiva, tablas interpretativas, clasificacion & correlacion
10	Base de datos geografica-suelos	Incluye capas SIG
11	Publicacion	

8.1 Necesidad de evaluación

Antes de que se planifique seriamente un levantamiento de suelos, necesitamos saber **quien** necesita la informacion de suelos, para que propositos y de aqui podemos determinar el **tipo** y **detalle** de la informacion que es requerida, asi como la **forma** del producto.

El levantamiento de suelos se realiza por la demanda del cliente (demand-driven). Dos casos:

1. Proposito especial: una aplicacion, periodo corto de aplicabilidad
2. Proposito general: muchas aplicaciones, periodo largo de aplicabilidad

En esta fase, **nos imaginamos como se aplicara o utilizara el levantamiento de suelos**. Si podemos visualizar quien utilizara el levantamiento de suelo y para que, podemos decidir que informacion sera requerida.

En particular, si el levantamiento sera utilizado en evaluacion de tierras o planificacion del uso de la tierra, necesitamos saber el **tamaño del area de decision** (MDA) o varios usuarios potenciales.

El proposito del levantamiento tambien dice en parte que, el detalle categorico de la leyenda de mapeo, la opcion de fases y si alguna informacion especial sera colectada en el campo. Por ejemplo, si el levantamiento servira como apoyo a proyectos de riego, necesitaremos informacion en infiltracion, requerimiento de lixiviacion, sales, etc.

El **producto** de esta fase es un **Memorandum de Entendimiento** detallado, llamado tambien **Terminos de Referencia** (TORs), la cual es esencialmente un **contrato** para el levantamiento de suelos entre la organizacion ejecutor y el cliente. Incluso si ambas partes son del gobierno, es aconsejable tener un contrato explicito.

8.2 Términos de referencia

Algunos items en este contrato:

1. Anticipación de los usuarios & usos del levantamiento de suelos (¿para que esta siendo hecho?)
2. Escala
3. Tipo de unidades de mapeo
4. Intensidad de observaciones; numero de observaciones (rapidas y detalladas); si todas las delineaciones seran visitadas; transectos u otros metodos de control de calidad.
5. Forma & escala de publicacion del mapa (papel, digital)
6. Contenidos del reporte: descripcion de las unidades de mapeo
7. Tipos de interpretaciones a ser incluidas en el reporte
8. Como se asegurara la calidad cientifica: procedimientos de revision en campo y gabinete.
9. Personal, logistica (vehiculos, accesibilidad)

10. Cronograma de actividades y logística de trabajo (muestreos en caminos)

11. Presupuesto

8.3 Problemas específicos en la especificación del levantamiento & terminos de referencia

Referencias [25, 40, 57]

8.3.1 Selección de la escala del mapa

La escala de publicación del mapa determina la intensidad de observaciones, el tipo y pureza de las unidades de mapeo y a gran extensión el costo y utilidad del levantamiento. Se debe tener mucho cuidado con la escala. En algunas organizaciones o en ciertos tipos de proyectos, la escala es pre-especificada.; este es un error y debe ser evaluado para cada objetivo respecto al levantamiento de suelos y el selo-paisaje.

Podemos negociar la escala del mapa (=intensidad de observacion) para pureza de las unidades de mapeo; el detalle categórico (precision en la definición de unidades de mapeo), requiere un correspondiente detalle cartografico (numero de delineaciones en una tierra dada).

Procedimiento sugerido:

1. Determine el **Area Minima de Decisión** (MDA) para los usos potenciales del levantamiento de suelos y a partir de este, calcule la primera escala propuesta (es decir, el grado de **detalle cartografico**). El concepto cartografico correspondiente a la MDA es la Minima Delineación Legible (MLD); nosotros requerimos que MDA=MLD sean convertidos a escala de campo. Recuerde que para la Minima Delineación Legible (MLD) definido como 0.4 cm^2 , la formula es $SN = [\sqrt{(MDA, \text{ ha} \cdot 250)}] \cdot 1000$. Por ejemplo, MDA = 1.6 ha, la formula nos da SN = 20000, por lo que la escala requerida es 1:20000. Llame a esta la **escala de decisión**.
2. Calcule el **numero de observaciones** que seran necesarias para alcanzar esa intensidad. Recuerde que la regla dice que debe haber una observación por cada 2.5 a 10 MDAs (usando 0.4 cm^2 como MLD); es decir, una observación por cada 1 a 4 cm^2 en el mapa publicado. En este ejemplo, requerimos 1 observacion por cada 4 a 16 ha.

Si la **escala de decisión es muy grande** (es decir, no tenemos suficientes recurso), tenemos dos opciones:

- 2.1. **Mapee a la escala de decisión** utilizando **areas de muestreo** para concentrar las observaciones y **extrapole** a otras areas no visitadas. Asegurese de mostrar al usuario del mapa las areas que se visitaron. Si la base de extrapolación es correcta (por ejemplo, el enfoque geopedologico) y apliquelo correctamente, esto puede resultar en la cobertura de un area mucho mas amplia con el mismo esfuerzo.

- 2.2. **Mapee a una escala pequeña** con un mapa de **dos-etapas**, es decir, uno que tiene que ser interpretado por el usuario en el campo de manera de encontrar sus MDAs. Así tomamos la decisión de mapear **asociaciones** al nivel de detalle categórico escogido (ver siguiente punto).
3. Determine el grado de **detalle categórico** requerido para cumplir los objetivos del levantamiento, es decir, **¿cuan específicas son las interpretaciones que se tienen que hacer?**. Exprese esto ya sea como rangos de las propiedades de los suelos permitidas en cada categoría o como un **nivel jerarquico en un sistema de clasificacion** (si es apropiado). Por ejemplo, para interpretaciones en áreas de pastizales podemos requerir solo que los suelos sean clasificados teniendo alta, media o baja capacidad de retención de agua; para interpretaciones referidas a la contaminación de aguas subterráneas por fuertes aplicaciones de fertilizantes, requeriremos información detallada en la curva de humedad como se requiere en un modelo suelo-agua-química. Algunos proyectos especifican “las unidades de mapeo deberán ser consociaciones de familia de suelos”, etc.; presumiblemente, ellos ya determinaron que este nivel de detalle categórico es requerido.
4. **Ahora trataremos de cumplir o emparejar los detalles categórico y cartografico requeridos.** A partir de un estudio preliminar del patrón del suelo (tal vez extrapolando a partir de áreas similares), determine cual es la escala natural requerida para separar los suelos al **detalle categórico requerido en el área de estudio**, es decir, **¿que escala tendrá el Promedio de Delineación 4xMLD = 1.6cm² en el mapa?** Esto es determinado a partir del Área Promedio (ASA) en un mapa que muestra el detalle categórico requerido. Calcule la escala correspondiente con la fórmula $SN = [\sqrt{(ASA/4, \text{ ha} \times 250)}] \times 1000$.

Por ejemplo, si el ASA de un mapa de fases de series de suelos es 12 ha, calcule $SN = [\sqrt{(12/4, \text{ ha} \times 250)}] \times 1000 = 27,386$; el mapa de estar al menos a una escala de 1:27500 para mostrar esta escala natural legible.

(esto también puede ser calculado directamente: $12\text{ha} = 120\,000\text{m}^2 = 1\,200\,000\,000\text{cm}^2$, el mapa debe tener una escala de al menos $1.6\text{cm}^2 / 1\,200\,000\,000\text{cm}^2 = 1:750\,000\text{ cm}^2$ $(\text{cm}^2)^{-1} = 1:\sqrt{750\,000} \text{ cm cm}^{-1} = 1:27\,386$).

¡No existe ningún sustituto de este paso! Las escalas naturales a un nivel categórico dado varían ampliamente. Un ejemplo de East Anglian [24] donde series de suelos muy contrastantes varían a una escala muy pequeña que en un mapa a escala 1:2500 o mayor será requerido para separarlas, vs. La misma cantidad de contraste categórico en un amplio paisaje erosional.

Note que si la decisión ha sido hecha para un mapa de **dos-etapas** (es decir, asociaciones), encontraremos la **escala natural de asociaciones**, no unidades de mapeo simples.

Estudios de variabilidad del suelo en muchos paisajes ha mostrado que se requiere de una escala de al menos 1:25000 para mapear principalmente consociaciones de fases de series de suelos [2], y al menos 1:100000 para mapear principalmente asociaciones de fases de tres o menos series de suelos.

5. Si todo ha salido bien hasta aquí, al escala natural = escala de decisión, y el numero de observaciones no es muy alto; llegamos a una decisión. Si no, existen muchas alternativas, dependiendo en la naturaleza de la discrepancia.

Caso 1: la escala natural es mas pequeña que la escala de decisión, es decir, el patron del suelo no requiere un mapa tan detallado como la escala de decisión.

Solucion 1: mapee a escala pequeña, es decir la escala natural. El usuario tendra suficiente información aunque la MLA en el mapa publicado sera mas grande que la MLA de la correspondiente MDA.

Solucion 2: mapee a la escala de decisión; el mapa publicado tendra un gran IMR. El unico problema sera que el mapa utilizara mas papel de lo necesario, y el usuario del mapa no encontrara el patron del suelo a primera vista.

Caso 2: la escala de decisión es mas pequeña que la escala natural, es decir, el patron del suelo ocurre a un patron mas fino al que el usuario desea.

Solucion 1: mapee a la escala de decisión y use unidades de mapeo compuestas; ya sean complejos o asociaciones de acuerdo al patron del suelo. Describa el patron espacial de los suelos dentro de unidades de mapeo compuestas. El usuario del mapa tendra que decidir como tratar la unidad de mapeo como un todo, tomando en consideración sus constituyentes. Por ejemplo, manchas con problemas de drenaje que se presentan como parches aislados requeriran manchas de drenaje; pero ellos pueden ser fácilmente identificados en el campo.

Solucion 2: pida un mayor presupuesto. Explique al cliente que la alternativa es un mapa de dos-etapas.

8.3.2 Tipo de unidad de mapeo

Esto esta relacionado directamente con la escala. A una escala dada, el suelo-paisaje determina la pureza de la unidad de mapeo (ver la seccion previa).

8.3.3 Intensidad de observaciones

Esto se relaciona a la escala del mapa, asi como a los estandares nacionales. Como se explic anteriormente (3.1.8), un requerimiento comun para un levantamiento de suelos [57 tabla 3.3] es que debe haber **un promedio, a partir de ¼ a 1 observacion de campo por cm² de mapa**, es decir, cada observación representa de 1 a 4 cm². Pero esto puede ser mas alto o mas bajo. El contrato debe establecer el numero total de observaciones, u observaciones por cm² de mapa, o por km² de campo a la escala propuesta.

8.4 Fase de investigación

Recolectar toda la informacion relevante del area de estudio:

1. Cartografica: especialmente un mapa base confiable

2. Tematica: todo lo que afecta la formacion de suelos (geologia, geomorfologia, vegetacion, uso de la tierra,).
3. Teorica: formacion del suelo, geomorfologia

8.5 Mapeo inicial

El proposito de este paso es **entender el patron del suelo y establecer una leyenda de mapeo** para la etapa de mapeo de rutina.

1. Fotointerpretacion preliminar: leyenda geo-pedologica tentativa.
2. Seleccion de areas de muestreo
3. Mapeo detallado en areas de muestreo

Generalmente a una escala de mapeo 2x (algunas areas s emagnifican a 4x); puede ser incluso a 4x.

Utiliza una leyenda de mapeo que permite estimar la composicion de la unidad de mapeo.

La idea es de entender realmente los suelos-paisajes tipicos.

Puede hacer diagramas de bloque y transectos (cross section) del paisaje.

4. Decision sobre las categorias de la leyenda
5. Desarrollar una **clave de campo**

8.6 Mapeo de rutina

Cobertura completa del area de estudio utilizando la clave de campo, muestreo adicional.

Las lineas de FI pueden ser ajustadas, las unidades de FI pueden ser combinadas o divididas en base a los suelos actualmente encontrados.

El enfoque a semi-detalle ITC: extrapolacion a unidades de FI similares, no todas las unidades son visitadas, pero la correspondencia espacial debe ser analizada.

8.6.1 *Organizacion de los datos en el campo*

¡El levantamiento de suelos es primero que nada un conjunto de observaciones cientificas! Y segundo, una interpretacion de estas observaciones en una teoria coherente de la pedogenesis y geografia del suelo. Como en cualquier investigacion cientifica, debemos mantener **notas de campo** lo mas exacta y completa posible.

Formularios de campo estandar para el llenado de datos; terminologia estandar.

Siempre tenga una **ubicación exacta**: (1) GPS, (2) en la fotografía aérea (perforando con un alfiler y anotar en un círculo en el reverso de la foto).

Un esquema de enumerado estandar.

Utilice un cuaderno de campo para las observaciones; ¡lo que parece irrelevante hoy, puede ser importante mañana! Sea un buen observador en campo. Claramente distinga entre observaciones e interpretaciones (de la pedogenesis, geomorfología, etc.) Note que las correlaciones con el uso de la tierra dentro esquema de evaluación de tierras.

¡Siempre mantenga la documentación original!

8.7 Control de calidad incluyendo correlación

Un gran problema, tan pronto existan varios mapeadores, es el análisis de calidad y correlación.

Control de calidad: ¿el trabajo fue bien hecho?

Correlación: ¿son los términos y conceptos utilizados consistentemente?

Revisión periódica

Revisión final: se ajusta la leyenda si es necesario

8.8 Cartografía

Transferir a una base geoméricamente corregida (FI).

Publicación del mapa.

8.9 Interpretación y evaluación de tierras

De acuerdo a los términos de referencia.

Estas tablas serán las más utilizadas por los clientes.

La idea básica es: un mapa de suelos, muchas interpretaciones, utilizando las categorías de la leyenda como "portadores de información".

8.10 Reporte

Leyenda descriptiva

Tablas interpretativas

Clasificación de suelos y correlación

8.11 SIG y Base de datos geográfica-edafológica

Idealmente, esta se hace como parte integral del mapeo y reporte. Vea notas separadas de este topico (manual tecnico y BDG).

8.12 Publicacion

Un levantamiento de suelos no publicado es un gasto de tiempo y dinero. Desde el inicio del proyecto se debe decidir en la forma de diseminar los resultados.

Canales estandares: oficinas gubernamentales, bibliotecas, oficinas de estension, etc.

Tambien: escuelas, universidades, cooperativas de productores, asociaciones de profesionales, etc.

8.13 El costo/beneficio en el levantamiento de suelos

Un levantamiento de suelos no debe ser emprendido si es que los beneficios totales no exceden los costos totales. Los costos son faciles de cuantificar y menos faciles de predecir, al menos dentro de un orden de magnitud antes de que el levantamiento comience.

Los beneficios son dificiles de cuantificar: primero, el levantamiento puede tener muchos usuarios, segundo, los beneficios deben ser calculados para un largo periodo de tiempo y tercero, algunos de los beneficios pueden ser dificiles de cuantificar (ej. proteccion medioambiental) .

8.13.1 Costo

Western [57] resume el trabajo de Bie & Beckett, que desarrolló relaciones generales entre la escala de mapeo (expresada como el número de escala NS) y el costo, así como entre la escala de mapeo y la dificultad de mapeo. Obviamente, estas son solo líneas guía y deben ser modificadas para áreas con patrones de suelo complicados, áreas con difícil accesibilidad y áreas con difícil muestreo, etc. Pero estas nos dan una idea de la magnitud del esfuerzo requerido.

Primero [6] estudiaron diez levantamiento en diferentes áreas geográficas y a diferentes escalas, de ahí establecieron que el esfuerzo E, medido en personas días $(\text{km}^2)^{-1}$, es relacionado linealmente al NS en una escala log-log. La relación es aproximadamente:

$$\text{Log}_{10} E = 7.41 - 1.57 * \text{log}_{10} \text{SN}$$

Con un coeficiente de correlación de aproximadamente 72.25%, el cuál es sorpresivamente alto considerando el terreno diferente, logística, patrón del suelo, etc.

Por ejemplo, a un levantamiento de 1:50000 (NS = 50000, $\text{log}_{10} \text{SN} = 4.7$) deberá requerir $\text{log}_{10} E = 3.25 * 10^{-2}$, así $E = 1.08$ hombres-días $(\text{km}^2)^{-1}$. En otras palabras, para realizar un levantamiento de suelos a escala 1:50000 se deberá preveer 1 hombre/día/ km^2 . Así por ejemplo para un mapa de suelos Holandes impreso (20*25km

=500 km²) requiera alrededor de 460 hombres/día; un grupo de cuatro levantadores (surveyors) serán capaces de realizar el trabajo en 115 días (cerca de cuatro meses).

¿Qué pasa si incrementamos la escala? Podemos esperar que partiendo en dos la escala incrementaremos el esfuerzo del levantamiento por un factor de $2^2 = 4$; sin embargo, algunos de los costos fijos y especialmente el transporte no se incrementan mucho. La ecuación da para una escala de levantamiento de 1:25000 un esfuerzo de 3.2 hombres/día/km², casi exactamente 3 veces al máximo (mejor que 4). De hecho, el factor F predecido por la ecuación es: $F = -1.57 * \log_{10}(1/2)$, es decir $F = 2.97$.

Bie & Beckett [6] también cuantificaron la complejidad del patrón del suelo mapeado a cualquier escala y encontraron una relación similar. Ellos tomaron en cuenta el número de segmentos de límite cruzados por una línea transversal de 1 km l , y encontraron la siguiente relación:

$$\text{Log}_{10} l = 4.22 - 0.88 \log_{10} NS$$

Con un coeficiente de correlación de nuevo de aproximadamente 72.25%, el cual es sorprendentemente alto considerando los patrones del suelo. Esto implica fuertemente que los mapeadores tienen un concepto intuitivo de un patrón de mapeo "satisfactorio" que puede ser mostrado a una escala dada y ajustar sus conceptos categóricos.

Por ejemplo a una escala de 1:50000, se espera que 1 km transversal cruzará aproximadamente 1.2 límites de suelo (es decir, los límites se encontrarán espaciados cada 825 m); a 1:25000 cruzará aproximadamente 2.2 límites (los límites estarán espaciados cada 445 m); a una escala de 1:12500, 4.1 límites (espaciado 240m).

Para calcular los **costos totales**: multiplique el esfuerzo predecido por el costo de 1 hombre/día, incluyendo servicios de apoyo (chofer, asistentes de campo, etc) y transporte. Incluya los costos por el análisis en laboratorio y necesidades de muestreo especiales. El libro de Western tiene más información práctica en los costos de levantamiento.

8.13.2 Beneficio

Los beneficios de un levantamiento de suelos son más difíciles de cuantificar: primero, el levantamiento de suelos puede tener **muchos usuarios**, segundo, los beneficios pueden ser distribuidos en un **largo periodo de tiempo** y tercero, algunos de los beneficios pueden ser **difíciles de cuantificar** (por ejemplo, protección medioambiental).

Para una buena revisión de este tema, consulte Western [57], capítulo 8.

Los **beneficios** de un levantamiento de suelos son actualmente beneficios en varios **tipos de decisiones en el uso de la tierra** (estratégico: alocación del uso de la tierra; táctico: manejo de tierras) que son **mejoradas** como resultado de la **estratificación** del paisaje y a partir de ello las **predicciones de un sitio específico** hecha por el levantador.

Ejemplo: Sin un LRS, los Ing. Agrónomos consultores (extensionistas) realizan una recomendación del uso de un fertilizante. Con un LRS, muchas recomendaciones pueden ser hechas para los diferentes tipos de suelos. Los beneficios económicos directos son de dos tipos: (1) ahorro de fertilizantes, utilizando la dosis correcta, en esos

casos el fertilizante sobrante no será de costo/beneficio en el rendimiento del cultivo (2) añadiendo más fertilizantes que el promedio recomendado si es costo/beneficio positivo en el incremento de rendimiento. También habrá un beneficio indirecto en este caso: menor contaminación de las aguas subterráneas por contaminación de los fertilizantes lixiviados.

Algunos ejemplos son más sitio-específico, pero pueden ahorrar mucho dinero. Ejemplo: seleccionando un sitio para un nuevo proyecto de desarrollo, como un relleno sanitario, parque industrial, etc.

La pregunta es: ¿cuáles son los beneficios potenciales? Y, ¿serán estos utilizados por los usuarios? ¿al menos conocerán de sus existencia?. **Un levantamiento de suelos no publicado, no tiene beneficios!**

Note que existen dos componentes: (1) estratificación y (2) predicción (interpretación). Alguién tiene que hacer la interpretación. **Un LRS sin interpretación no tiene beneficio.**

9 Bibliografía

1. America, Soil Science Society Of, 1997 *Glossary of soil science terms*. Madison, WI. 134.
2. Avery, B.W., 1987 *Soil survey methods: a review*, in *Technical Monograph*, Editor^Editors: Silsoe: Soil Survey & Land Resource Centre. p. 86.
3. Baize, D. And M.C. Girard, Eds., 1995 *Referentiel pedologique 1995*, ed. I.N.d.I.R. Agronomie. Paris. 332.
4. Beckett, P.H.T. *Method and scale of land resource survey, in relation to precision and cost, in Land evaluation*. in *CSIRO Symposium, organized in cooperation with UNESCO*. 1968. Camberra: Macmillan Company of Australia: South Melbourne.
5. Beckett, P.H.T. And P.A. Burrough, 1971 *The relation between cost & utility in soil survey. IV. Comparisson of the utilities of soil maps produced by different survey procedures, and to different scales*. *Journal of soil science*. **22**(4): p. 466-480.
6. Bie, S.W. And P.H.T. Beckett, 1970, *The costs of soil survey*, in *Soils and Fertilizers*. p. 203-216.
7. Breeuwsma, A. And H.D. Bakker, 1990, *Bodemvorming, in Bodemkunde van Nederland*, H.d.B.a.W.P. Locher, Editor: Malmberg: Den Bosch. p. 57-70.
8. Bregt, A.K., 1992 *Processing of soil survey data*. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Agricultural University. 167.
9. Bridges, E.M., N.H. Batjes, and F.O. Nachtergaele, Eds, 1998 *World reference base for soil resources: atlas*, ed. ACCO. Leuven. 79.
10. Brown, A. And W. Feringa, 1999 *A colour handbook for GIS users and cartographers*. Enschede, The Netherlands: International Institute for Aerospace Survey and Earth Observation ITC. 94.
11. Brown, R.B and J.H. Huddleston, 1991, *Presentation of statistical data on map units to the user*, in *Spatial variability of soils and landforms*, M.J.M.a.L.P. Wilding, Editor. Soil Science Society of America: Madison. p. 127-147.
12. Brubaker, S.C. And C.T. Hallmark, 1991, *A comparison of statistical methods for evaluating map unit composition*, in *Spatial variability of soils and landforms*, M.J.M.a.L.P. Wilding, Editor. Soil Science Society of America: Madison.
13. Buol, S.W., F.D. Hole, and R.J. Mccracken, 1989 *Soil genesis and classification*. 3rd ed. Ames, IA: The Iowa State University Press. 446.
14. Burrough, P.A., 1986 *Principles of geographical information systems for land resources assessment*, ed. O.U. press. New York. 193.
15. Burrough, P.A., 1991, *Sampling designs for quantifying map unit composition*, in *Spatial variability of soils and landforms*, M.J.M.a.L.P. Wilding, Editor. Soil Science Society of America: Madison. p. 89-125.

16. Butler, B.E, 1980, *Soil classification for soil survey*, in *Monographs on soil survey*, R.W.a.V.C.R.P.H.T. Beckett, Editor. Oxford Science Publications: Oxford. p. 129.
17. Byrd, H.,1991 *Speaking out on soil survey (letter to editor)*. Soil Survey Horizons. **32 (4)**: p. 126-127.
18. Congalton, R.,1991 *A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data*. Remote Sensing of Environment. **37**: p. 35-46.
19. Cremeens, D.L., R.B. Brown and J.H. Huddleston, Eds., 1994 *Whole regolith pedology*. Soil Science Society of America. Vol. SSSA Special publication 34. Madison. 136.
20. Daniels, R.B, Et Al, 1984 *Soil systems in North Carolina*. North Carolina Agricultural Research Service Bulltein 467. Raleigh, North Carolina: North Carolina Agricultural Research Service. 77.
21. Davis, R.E., Et Al, 1981 *Surveying: Theory and Practice*. 6th ed. New York: McGraw-Hill. 992.
22. De Gruijter, J.J. And B.A. Marsman. *Transect sampling for reliable informaion on mapping units*. in *Soil spatial variability:proceedings of a workshop of the ISSS and SSSA*. 1984. Las Vegas.
23. Deckers, J.A., F.O. Nachtergaele, and O.C. Spaargaren, Eds, 1998 *World reference base for soil resources: introduction*, ed. ACCO. Leuven. 165.
24. Dent, D. and Young, A., 1981 *Soil survey and land evaluation*. London, England: George Allen &Unwin.
25. Euroconsult, 1989 *Agricultural Compendium for rural development in the tropics and subtropics*: Elsevier. 740.
26. Eyk, J.J.V.D., C.N. Macvicar, and J.M.D. Villiers1969Soils of the Tugela Basin: a study in subtropical Africa. Natal Town &Regional Planning Reports 15. Soils of the Tugela Basin: a study in subtropical Africa. Natal Town &Regional Planning Reports 15.Natal Town & Regional Planning Comission
27. Fao, 1978 *Report on the Agro-ecological zones project*. World Soil Resources Report 48, ed. F.a.A.O.o.t.U. Nations. Vol. 1: Methodology and results for Africa. Rome. 158.
28. Fao, 1983 *Guidelines : land evaluation for rainfed agriculture*. FAO soils bulletin ; 52, ed. L.a.W.D. Division., Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. xii, 237.
29. Fao, 1993 *Agro-ecological assessments for national planning: the example of Kenya*, ed. F.S.B. 67. Rome: Food and Agriculture Organization of the United nations. 154.
30. Fao1998World reference base for soil resources World reference base for soil resourcesFood and Agriculture Organization of the United Nations
31. Forbes, T.R., D. Rossiter, and A. Van Wambeke, 1987 *Guidelines for evaluating the adequacy of soil resource inventories*. Printing ed. SMSS Technical Monograph, ed. C.U.D.o. Agronomy. Ithaca, NY.
32. Gopal, S. And C. Woodcock,1994 *Theory and methods for accuracy assessment of themathic maps using fuzzy sets*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. **60(2)**: p. 181-188.

33. Gunn, R.H., Et Al Eds., 1988 *Australian soil and land survey handbook: guidelines for conducting surveys*. Melbourne: Inkata Press. 300.
34. Heuvelink, G.B.M,1993 *Error propagation in quantitative spatial modelling: applications in Geographical Information Systems*. Netherlands Geographical Studies 163: p. 151.
35. Hoaglin, D.C., F. Mosteller, and J.W. Tukey, ed. 1983 *Understanding robust and exploratory data analysis*. Wiley: New York. 447.
36. Holmgren, G.C.S.,1988 *The Point Representation of Soil*. Soil Science Society of America Journal. **52**: p. 712-716.
37. Holst, A.F.V., 1990, *Bodemkartering en bodemkaarten, in Bodemkunde van Nederland*, H.d.B.a.W.P.L. editors, Editor: Malmberg: Den Bosch. p. 85-99.
38. Knox, E.G. *Soil individuals and soil classification*. 1965.
39. Lagachiere, P., P. Andrieux, and R. Bouzigues, 1996, *Fuziness and uncertainty of soil boundaries: from reality to coding in GIS*, in *Geographic objects with indeterminate boundaries*, P.A.B.a.A.U. Frank, Editor. Taylor & Francis: London. p. 275-286.
40. Landon, J, R.,Ed., 1984 *Booker tropical soil manual: a handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics*. New York: Longman. 450.
41. Lepsch, I.F, Et Al., 1991 *Manual para levantamento utilitário do meio fisico e classificacao de terras no sistema de capacidade de uso*. Vol. 4a. Campinas, SP: Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo. 175.
42. Lillesand, T.M. And R.W. Kiefer, 1994 *Remote Sensing and image interpretation*. 3rd ed. Vol. xvi. New York: John Wiley & Sons. 750.
43. Olson, G.W., 1973 *Soil survey interpretation for engineering purposes*: FAO.
44. Olson, G.W., 1981 *Soils and the environment*. New York: Chapman & Hall.
45. Robinson, A.H., 1995 *Elements of Cartography*. 6th ed, ed. J. Wiley. New York. 674.
46. Staff, Soil Survey, 1975 *Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys.*, ed. A.H. 436. Washington DC: US Department of Agriculture Soil Conservation Service. 754.
47. Staff, Soil Survey, 1997 *National Soil Survey Handbook*. Revised December. Title 430-VI ed. Washington, DC: US Government Printing Office.
48. Staff, Soil Survey Division, 1993 *Soil survey manual*, ed. U.S.D.o.A.H. 18. Washington, DC: US Department of Agriculture. 437.
49. Stein, A., M. Hoogerwerf, and J. Bouma,1988 *Use of soil-map delineations to improve (co)kriging of point data*. Geoderma. **43**: p. 163-177.
50. Steur, G.C.L., W. Paas, and H.D. Bakker, 1984, *The soil maps of the German - Netherlands border-area project: a comparisson of maps, mapping methods and classification, in Perspectives in Land Evaluation*, E. J.C.F.M. Haans, Editor.

51. Sykes, J.B., Ed., 1983 *The concise Oxford dictionary of current English*. 7th ed. Oxford, England: Clarendon Press. 1260.
52. Upchurch, D.R. And W.J. Edmonds, 1991, *Statistical procedures for specific objectives*, in *Spatial variability of soils and landforms*, M.J.M.a.L.P. Wilding, Editor. Soil Science Society of America: Madison. p. 49-71.
53. Van Wambeke, A. And T. Forbes, Eds., 1963 *Guidelines for using Soil Taxonomy in the names of soil map units*. SMSS Technical Monograph N°10, ed. S.M.S. Service. Washington. 73.
54. Vink, A.P.A, 1963 *Planning of soil surveys in land development*, ed. I.I.f.L.R.a. Improvement. Vol. 10. Wageningen: Veenman & Zonen.
55. Vink, A.P.A, 1975 *Land use in advancing agriculture*. New York: Springer-Verlag. 394.
56. Webster, R. And M.A.Oliver, 1990 *Statistical methods in soil and land resource survey*. Oxford: Oxford University Press.
57. Western, S., 1978 *Soil survey contracts & quality control*. Monographs on Soil Survey. Oxford: Clarendon Press. 284.
58. Williams, J.R., K.G.Renard and P.T.Dyke, 1983 *EPIC: a new method for assessing erosion's effect on soil productivity*. Journal of Soil and Water Conservation. **36**: p. 381-383.
59. Zinck, J.A., 1988 *Physiography & soils*. ITC Lecture Notes SOL 41. Enschede, The Netherlands.