Manual del usuario del software EasySDE [1]

Oscar García
University of Northern British Columbia
garcia@unbc.ca

Prince George, Canada.

Enero, 2003.

[1] Traducido a partir del documento "EasySDE User Guide", University of Northern British Columbia, Prince George, Canada. Traducción de Christian Salas, 2004.

Contenidos

1. Qué

EasySDE es esencialmente una guía para afrontar algún antiguo software para desarrollar modelos forestales de crecimiento en altura (o índice de sitio). Métodos estadísticos eficiente y bastante sofisticado son usados, haciendo un buen uso de casi cualquier clase de datos remedidos. El antiguo software no era particularmente amigable con el usuario, lo cual indudablemente limitó su popularidad. *EasySDE* simplifica mayormente el proceso. Esta facilidad de empleo, debería compararse favorablemente con la mayoría de los otros procedimientos de modelación del sitio.

En resumen, varias parametrizaciones de la ecuación de Richards pueden ser usadas. Para la estimación, fuentes de error ambiental y de mediciones son modeladas a través de una ecuación diferencial estocástica (SDE). Todos los parámetros son estimados simultáneamente por máxima verosimilitud (no se preocupe, todo esto será explicado prontamente). Los datos pueden ser dos o más medidas de altura-edad en cualquier número de parcelas de muestreo. Los intervalos de las mediciones pueden variar, y ser de cualquier tamaño. Tanto datos provenientes de parcelas de muestreo permanente o de análisis fustal pueden ser usados.

Alguna base metodológica es dada en la siguiente sección. Instrucciones al usuario del *EasySDE* lo sigue. Esto debería ser más que suficiente para desarrollar modelos usando las variantes que la experiencia pasada ha mostrado ser las más útiles. Si Ud. realmente quiere saber qué esta usted haciendo, y se siente aventajado, para agregar flexibilidad Ud. podría controlar directamente los programas subyacentes. O aún penetrar en el código, o usar alguno de sus componentes para otros propósitos. Detalles son contenidos en *Apuntes avanzadas y del programador* incluido en esta distribución. Todas las fuentes están disponibles libremente bajo la licencia GPL.

Los modelos y métodos son descritos formalmente en García (1983) y Seber y Wild (1989, pp. 354-356 y anexo C), pero lo que sigue debería ser más que suficiente para que Ud. puede comenzar. Extensivos resultados de experimentos son reportados en García (1999). Métodos similares fueron usados por Rennolls (1995).

2. Teoría

2.1 Crecimiento, altura y sitio

En un sitio dado, y bajo condiciones ambientales “medias”, el crecimiento en altura esperada depende de la altura corriente:

$$\frac{dH}{dt} = f(H), \qquad (1)$$

Donde *H* es la altura dominante y *t* es el tiempo (o edad). Es usualmente asumido que, dentro de ciertos límites, otras variables de rodal, tales como la densidad no son significativamente afectadas por la altura dominante. Se podría también argumentar que el crecimiento también depende de la edad. En efecto, edad, tiempo transcurrido desde el nacimiento, no tiene una presencia física en cualquier tiempo dado más que quizás en el número de anillos de crecimiento. Por lo tanto, puede ser difícil tener un efecto causal. Sólo cambios acumulados reflejados en el estado corriente de el rodal pueden ser causas. En principio, el envejecimiento del tejido fisiológico podría tener alguna influencia en las tasas de crecimiento. Para la mayoría, sin embargo, el tamaño del árbol debe ser la variable dominante.

Partiendo a partir de alguna altura inicial H_0 al tiempo t_0, acumulación (por ejemplo, integración) de la tasa de crecimiento en (1) produce la altura H_1 en algún otro tiempo t_1. Esto puede ser calculado tomando ventaja de (1) siendo una "ecuación diferencial separable":

$$\frac{dH}{f(H)} = dt$$

$$\int_{H_0}^{H_1} \frac{dH}{f(H)} = \int_{t_0}^{t_1} dt = t_1 - t_0 \ .$$

Si nosotros podemos integrar analíticamente el lado izquierdo, y entonces resolver para H_1, nosotros obtenemos una formula para H_1 como una función de t_1, t_0, y H_0.

Un flexible y comúnmente usado modelo $f(H) = \eta H^m - \kappa H$. Fue propuesto en esta forma por von Bertalanffy en los 1930's, no solo con $m = 2/3$ como es frecuentemente pensado (von Bertalanffy, 1938, 1949), y fue popularizado para el crecimiento de plantas por Richards (1959). Introducido en silvicultura por Pienaar y Turnbull (1973), por alguna razón es a veces llamado el modelo de "Chapman-Richards". Será conveniente usar una transformación de poder H^c, con $c = 1 - m$, y escrito como

$$\frac{dH^c}{dt} = b\left(a^c - H^c\right). \tag{2}$$

La equivalencia puede ser verificada por diferenciación en la parte izquierda, y reordenando. Integrando y resolviendo para H, como fue explicado arriba, dando la ecuación de altura sobre edad:

$$H = a\left[1 - \left(1 - H_0^c / a^c\right)e^{-b(t - t_0)}\right]^{1/c}. \tag{3}$$

Yo he omitido el subíndice 1 para simplificar. Nosotros debiéramos referirnos también a t como *edad*, aunque solo necesita ser un tiempo relativa o edad nominal; el cambio por alguna constante no hace ninguna diferencia.

En (3), frecuentemente H_0 y t_0 toman valores cero, forzando la curva a pasar a través del origen. Más generalmente, ellos podrían representar algún tamaño inicial a una cierta edad. Esto es una típica curva sigmoidea. El parámetro a es la asintota, b es un factor de "velocidad", dando la escala en el eje del tiempo, y c es un parámetro de forma determinando la altura relativa del punto de inflexión.

2.2 Índice de sitio

El crecimiento en altura dominante es ampliamente usado como un indicador de productividad del sitio. La ventaja sobre medidas directas, tales como la producción de volumen, es que ésta es menos afectada por los tratamientos que manejan la densidad del rodal. Es asumido que la curva de altura-edad, p.e. (3), varía entre sitios. Dependiendo de la calidad del sitio, las curvas alcanzan diferentes niveles, sin interceptarse unas con otras. Las curvas podrían ser etiquetadas en varias formas, una común esta siendo por la altura alcanzada a alguna edad específica de referencia o base: el *índice de sitio*.

Matemáticamente, esto corresponde a una *familia de curvas de un parámetro*. Esto es, la ecuación de la curva para diferentes sitios difiere sólo en el valor de un parámetro escalar. Por ejemplo, en (2) y (3), uno de los parámetros a, b, o c, podría cambiar con la calidad del sitio, mientras que los otros son comunes a todos los sitios. Más generalmente, esto podría ocurrir después de reparametrizaciones: cualquiera o todos de a, b y c pueden ser funciones fijas de algún otro parámetro que varía con el sitio. Nosotros llamamos a parámetro dependiente del sitio *local*, siendo específico para una parcela de muestreo, y los otros *global*, perteneciendo al modelo en total.

La relación entre el parámetro local y el índice de sitio convencional S es encontrada por sustitución de la edad base t_s en (3):

$$S = a\left[1 - \left(1 - H_0^c / a^c\right) e^{-b(t_s - t_0)}\right]^{1/c}. \tag{4}$$

En casos simples (4) puede ser algebraicamente resuelta para el parámetro local, y esta sustituida en (3) obtiene una ecuación altura-edad en función de S. Una solución numérica podría ser necesaria en otros casos.

Todo esto es limpiamente franco en un mundo determinístico, o cuando se esta tratando con tendencias esperadas, como hasta aquí. Con los datos actuales del rodal nosotros necesitamos ser más precisos. Implícito en el concepto tradicional parecer estar la idea que las curvas de sitio e índices de sitio representan alguna suerte de promedio sobre los rodales hipotéticos que podrían crecer en el sitio. Esto es, índice de sitio es una propiedad del sitio. Más recientemente, algunos investigadores han estado pensando en el índice de sitio como la altura actual alcanzada por un rodal específico a la edad base. Una propiedad del rodal. El defecto en distinguir entre estas dos diferentes definiciones, las cuales podrían denominarse "sitio índice de sitio" y "rodal índice de sitio", ha causado un gran confusión e innecesaria controversia (ver, por ejemplo, Bailey y Cieszewski, 2000, y referencias allí).

Nosotros tomamos la vista sitio índice de sitio. Específicamente, *Índice de sitio es la más probable altura dominante a una edad base entre cualquier rodales hipotéticos (de unas especies dadas, etc.) que podría crecer en un sitio*[2]*.* Y similarmente para otras edades.

Al menos en esta vista, la edad base del índice de sitio es esencialmente arbitrario, un invento para asignar un número a cada curva de la familia. Por lo tanto, aproximaciones de modelación donde

[2] Yo podría haber dicho "esperado" en ves de "más probable". Media y moda convergen al mismo valor como en cuanto el tamaño de la muestra se incremente, entonces, presumiendo un número infinito de hipotéticos rodales, esto no sería ninguna diferencia en la definición. Existen diferencias en situaciones de estimación, como se discuten después.

los resultados cambian con la elección de edad de referencia son, a lo más, feo. Nuestros métodos son estrictamente *invariantes a la edad base*, en el sentido de Bailey y Clutter (1974).

Advertencia: Como con cualquier medida de un solo número, el concepto de índice de sitio puede fallar si es forzado demasiado lejos. Esto puede ser un buen indicador de productividad relativa dentro de regiones biogeoclimáticas donde patrones de crecimiento y factores limitantes son similares. Por otra parte, no sólo el nivel, sino que también la forma de la curva podría variar de tal forma que ocurrieran entrecruces. Una apropiada estratificación debería ser usada. Alternativamente, indicadores multidimensionales podría ser posibles, aunque muy poco o ninguna investigación en este tema parece haberse realizado. Una variante del modelo experimental con dos parámetros locales es incluida en este paquete.

2.3 Estimación

Estimación racional requiere alguna suerte de modelo para la variabilidad de las observaciones. La experiencia sugiere que desviaciones moderadas a partir de supuestos p.e., errores aditivos, varianza uniforme, independencia, normalidad, etc. en regresión podrían no ser demasiado críticas para la calidad de las estimaciones. Una fuerte caracterización de la estructura de los errores es sin embargo, deseable.

Es claro, por ejemplo, que las desviaciones de un rodal a partir de la ecuación (3) deberían tender a incrementarse con el tiempo, y que ellas no son estadísticamente independientes. Esto debido a que el “error”, debido entre otras cosas a fluctuaciones ambientales, acumuladas sobre el tiempo. Mínimos cuadrados ordinarios es por lo tanto relativamente ineficiente. Seber y Wild (1989, Ch. 7) revisaron aproximaciones para modelas esta clase de datos, y otros son encontrados en la literatura forestal. Muchos, tales como los modelos autoregresivos y de efecto mixto, tienden a realizar una representación algo cruda de la estructura de los errores por la conveniencia de usar paquetes estadísticos estándares. Nosotros tratamos una suavemente más realista modelo estocástica que requiere un software especial para este propósito. Afortunadamente, EasySDE ahora hace sus aplicaciones no más difícil que otros métodos.

Para cada parcela de muestreo, nosotros representamos los efectos de “ruido ambiental”, principalmente el clima, como una perturbación agregada a el lado derecho de (2). La perturbación es asumida ser un proceso aleatorio continuo, con valores que son independientes para intervalos no sobrelapados. Técnicamente, lo que es llamado un Wiener, ruido blanco, o proceso de movimiento de Brownian:

$$\frac{dH^c}{dt} = b\left(a^c - H^c\right) + \sqrt{2b}\,\sigma\dot{w}(t). \qquad (5)$$

Aquí $\dot{w}(t)$ es el proceso estándar de Wiener (media cero, varianza 1), y σ es un nuevo parámetro determinando la intensidad de la perturbación o varianza[3]. Esto es llamado un *ecuación diferencial estocástica* (SDE). Para mantener las cosas “simples”, nosotros descuidamos cualquiera correlación a través de las parcelas.

[3] El factor $\sqrt{2b}$ no aparece en García (1983). Si yo recuerdo correctamente, esto fue introducido aquí para simplificar la programación, o quizás por alguna otra obscura razón. Por supuesto, esto no afecta la estimación de los parámetros de interés.

En adición, nosotros reconocimos que la altura dominantes observada de un rodal h_i podría diferir a partir del real H_i debido a errores de medición y de muestreo. Para conveniencia matemática nosotros asumimos

$$h_i^c = H_i^c + \sigma_m \varepsilon_i, \tag{6}$$

donde ε_i son variables independientes normales estándar, y σ_m es otra parámetro a ser estimado. Esto hace el error levemente mayor para grandes alturas (error estándar aproximadamente proporcional a H_i^{1-c}), lo cual parece razonable.

Finalmente, podría resultar que las perturbaciones del crecimiento son mayores en la etapa de establecimiento que más tarde. Un parámetro adicional σ_0 puede ser usado para representar variabilidad extra sobre algún tiempo previo a la primera medición.

El modelo general tiene entonces 8 parámetros "básicos": a, b, c, t_0, H_0, σ, σ_m y σ_0. En una versión específica del modelo o variante, alguno de estos parámetros podrían ser fijos (frecuentemente cero), global, o local. Ellos podrían también ser alguna función de otro nuevo parámetro global y local, lo cual es ejemplificado después. Actualmente, un "parámetro local" representa muchos parámetros, uno para cada parcela de muestreo. Típicamente, uno necesita sólo valores para los globales entre los primeros cinco parámetros arriba usados.

Los datos consisten de un número de parcelas de muestreo, cada una con una secuencia de observaciones pareadas de edad-altura (t_i, h_i). Nosotros estimamos los parámetros por máxima verosimilitud (ML). Este consiste en calcular la probabilidad, bajo el modelo, a partir de los datos observados. Considerado como una función de los parámetros, substituyendo los datos dados, esto es la función de probabilidad. Las estimaciones ML son los valores de los parámetros que maximizan la función de verosimilitud. Estimación ML tiene un número de agradables propiedades estadísticas. Dos características son particularmente atractivas para esta clase de aplicación. Primero, no importa cuan complejo sea un modelo, el procedimiento es bien definido: uno "simplemente" obtiene la función de probabilidad y encuentra un máximo. Segundo, es invariante bajo reparametrizaciones, es decir, la estimación ML para cualquier función de los parámetros iguales esa función de los parámetros ML estimados. Esto es conveniente donde parametrizaciones son esencialmente arbitrarias: deberíamos conseguir buenas estimaciones para el índice de sitio, para su logaritmo, para un parámetro local, para la altura a una cierta edad? A diferencia con otros métodos, todos estos son simultáneamente posibles y compatibles.

La función de probabilidad es obtenida a través de la integración de la SDE (5), e incorporando la distribución implicada por (6). Si Ud. desea, vea García (1999) o Seber y Wild (1989) para detalles más específicos. Un completo método modificado de Newton, usando primeras y segundas derivadas, es usado para mejorar la eficiencia y fiabilidad en minibar el logaritmo negativo de la probabilidad bajo cientos de variables (parámetros). La implementación hace uso de la especial estructura de el problema, con estrategias particionadas para aprovechar la ventaja de dispersión de la matriz de secundas derivadas. Para detalles ver García (1980), y los apuntes del programador en este paquete.

2.4 Selección del modelo y verificando de hipótesis

Modelos con el mismo número de parámetros pueden ser comparados y escogidos de acuerdo al mayor valor de la probabilidad calculada, o de su logaritmo, el log-verosimilitud. En comparaciones de modelos con diferente número de parámetros, flexibilidad adicional requiere ser penalizada.

Varia teorías sugieren penalizar de un medio a tres unidades de log-verosimilitud por parámetro. Criterio de información Akaike (AIC), quizás el más popular, indica una unidad. Note que el valor de la probabilidad por si mismo, es esencialmente sin significado, esto es valores relativos, o diferencias en los logaritmos, estos son importantes.

Para testear la hipótesis, una aproximación considera una diferencia de log-verosimilitud de sobre dos unidades como “significativa”. Más ortodoxo es el test de razón de verosimilitud. Este es basado en el doble log-verosimilitud diferencia siendo asintóticamente distribuida como una χ^2 con grados de libertad iguales a la diferencia en el número de parámetros. Para ejemplo vea García (1999).

3. Uso del programa

3.1 Formato de los datos

Los datos deben ser arreglados en un archivo de texto con tres columnas: número de la parcela, edad y altura dominante. Los números de las parcelas deben ser enteros, con hasta 9 digitos. Los otros valores tienen formato libre, y columnas deben ser separadas por cualquier número de espacios y/o tabulaciones.

Cada fila corresponde a una medición de fecha, con la secuencia de mediciones de la parcela ordenada por el incremento de la edad. Diferentes parcelas deben ser separadas por una línea en blanco. Vea archivo *test.*dat para un ejemplo.

Antes de ir más lejos, es una buena idea graficar los datos para verificar errores. *SitePlot* podría ser usado para esto. Una detallada descripción esta en la Sección 4, pero para graficar sólo los datos éste debería ser suficiente.

3.2 Especificación del modelo

Al ejecutar EasySDE, la ventana de la Figura 1 aparece. Los ítems en ésta son como siguen:

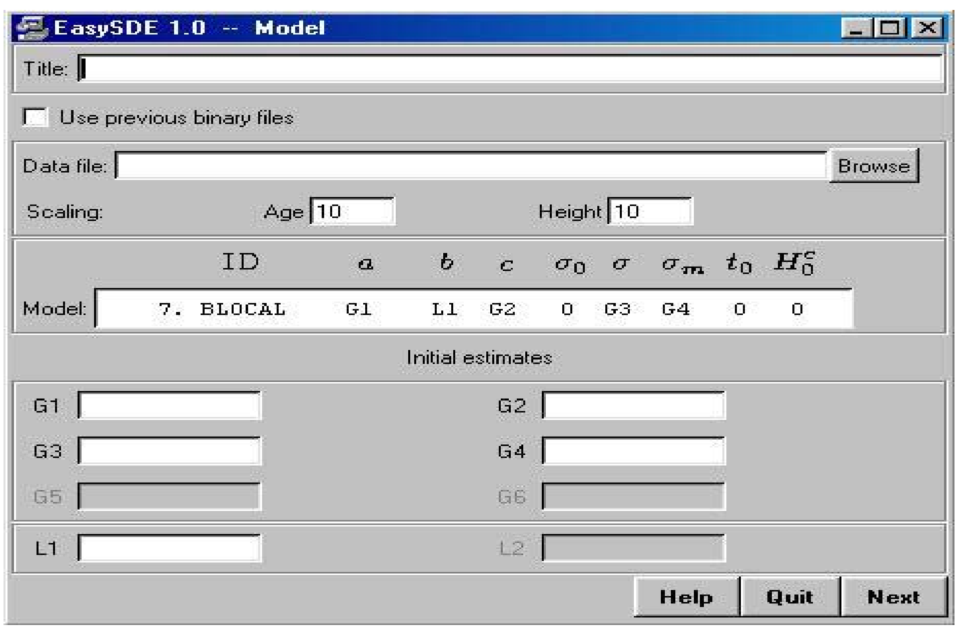

Figura 1: Etapa 1: Ventana de especificación del modelo

Título. (*Title*). Una línea opcional de información descriptiva para ser impresa en la parte alta de las salidas del software.

Archivo binario. (*Binary file*). Si es chequeado, se usan los parámetros estimados y los datos de la última vez que se hizo correr el programa. La versión del modelo en la nueva ejecución debe usar el(los) mismo(s) parámetro(s) local(es).

Archivo de datos. (*Data file*). Nombre del archivo que contiene la base de datos para ajuste.

Escala. (*Scaling*). Las edades y alturas en el archivo de datos son divididas por estos valores. Convergencia podría ser más rápida y confiable si la escala de las edades y alturas no están demasiado lejos de la unidad. Si los factores de las escalas con diferentes entre ellos, las estimaciones iniciales y la salida corresponden a la escala del modelo. Valores tales como 10 o 100 hacen fácil la reducción.

Modelo. (*Model*). Cliquear para seleccionar una versión del modelo. El *Gi* rodal para parámetros globales, y el *Li* para parámetros locales. Un número de modelos están disponibles en EasySDE:

`ALOCAL` tiene a como parámetro local, y es forzado a pasar a través del origen. Esto produce curvas de índice de sitio anamórficas. `A-T0` a `A-T0S0` incluyen parámetros de origen distintos de cero, y/o la adicional varianza inicial σ_0. `ALOCBH` es para bases de datos que emplean la edad a la altura del pecho; esto fuerza a la altura de 1.3 tiene edad cero (antes escalado)

`BLOCAL` a `BLOCBH` son similares, pero tomando b como el parámetro local. Las curvas resultantes son polimórficas. Actualmente, proporcionales a través del eje de t.

`LINEAR` y `COMP` son más modelos generales, donde la forma de la curva varía en una forma más flexible con el sitio. A costa de un parámetro suplementario. Desafortunadamente, sólo una solución numérica para el local como una función del sitio es posible, tanto que ellos no son conveniente para muchos usos. Ellos pueden ser usados para evaluar la suficiencia de los modelos más simples, y como la última instancia si los otros no funcionan. Conjetura: No existen realmente modelos polimórficos con una invariante expresión explicita de la edad base para relacionar los parámetros en términos del índice de sitio. `COMP` fue usado en García (1996).

Finalmente, `ABLOCALS` tiene tanto a y b parámetros locales, lo cual no produce las curvas tradicionales de índice de sitio. Esto podría ser útil para testear hipótesis y experimentación. Graficando la relación entre el valor estimado de a y b podría sugerir apropiadas reparametrizaciones.

Estos son los modelos que generalmente han sido encontrado más útiles en la práctica. Otras variantes pueden ser implementadas con algunos esfuerzos extras; ver los apuntes avanzados y del programador.

Se recomienda comenzar con el modelo más simple en cada clase (`ALOCAL o BLOCAL`), y posiblemente usar los parámetros estimados como puntos de partida para los más generales. La opción *Archivos binarios* es útil aca.

Parámetros iniciales. (*Initial parameters*). Estos son los puntos de partida para la optimización de las iteraciones de la verosimilitud. Ellos deben ser correspondientes a la escala especificada, si existe. Para el local(es), un mismo valor inicialmente usado para todas las parcelas. Botones “Tab” y “Shift-Tab” pueden ser usados para moverse entre los campos de entrada.

Convergencia puede ser lenta o fallar si la estimaciones iniciales no son lo suficiente cercanas. Si es posible, trate de ir pasando a través de modelos de una mayor complejidad, usando estimaciones previas como puntos de partida. Usando *Archivos binarios* se tiene la ventaja de los valores previos individuales de parcelas locales.

Es también una buena idea tratar varios puntos de partida, para (parcialmente) guardarse en contra de óptimo local.

Algunas sugerencias cuando partan desde el principio: Para a, adivine una altura límite superior. Parámetro c tiende usualmente entre 0.5 y 1; trate con 0.7. Trate con el reciproco de la edad base para b. Las σ's son un poco extrañas, con una escala apropiada algo alrededor de 0.05 debería estar OK.

Ayuda. (*Help*).Despliega una versión abreviada de esta sección del manual.

Salida. (*Quit*). Tal como dice su nombre para salir del software.

Siguiente. (*Next*). Avanzar a la siguiente etapa.

3.3 Pre-procesando

Al pinchar `Next`, la información es chequeada y preparada para ser usada por el programa de estimación principal. Si no hay entradas incorrectas o perdidas en la ventana de *Definición del modelo*, la ventana de la Figura 2 aparece.

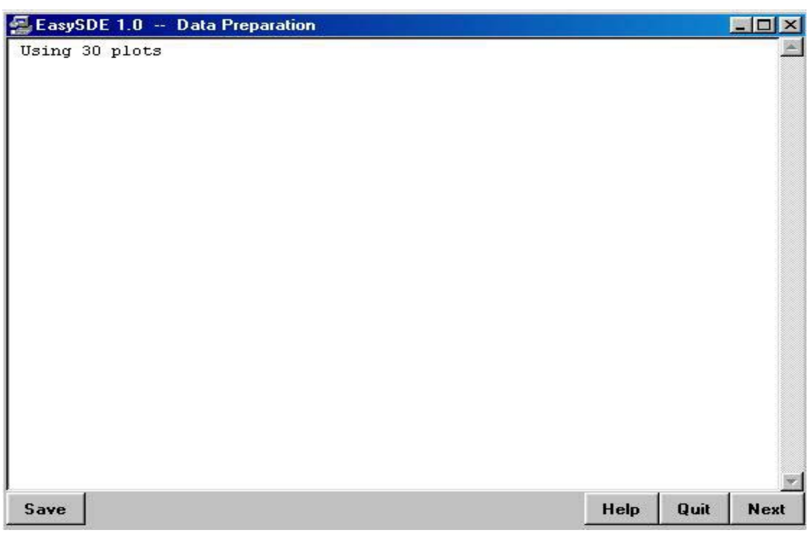

Figura 2: Etapa 2: Ventana de pre-procesado

Los contenidos de la ventana pueden ser guardados a un archivo a través del botón `Save` (“*Guardar*”)

Si Ud. debe saber, la parte final frontal, corre `DataPrep.exe`, el cual lee el archivo de base de datos y genera archivos intermedios con los datos (`DATA.$$$`, binario), los locales (`PARS.$$$`, binario), y otra información (`CTRL.$$$`, texto). Si todo esta OK, estos son entonces pasados dentro de `SDEfit.exe`, el cual hace el trabajo duro. Las estimaciones locales finales y otra información son dejadas en `PARS.$$$` y resultados en `REPORT.$$$` (un archivo de texto). Hay una pequeña mayor flexibilidad cuando se corre el programa manualmente, específicamente, una lista estimaciones iniciales de cada parcela-especifica puede ser usada; ver los apuntes avanzados.

3.4 Ejecutar

La misma ventana es entonces usada para desplegar la iteración logarítmica como procede en la optimización. Para monitorear el progreso, valores para los parámetros y para la función que esta siendo minimizada (la cual es -2 veces el logaritmo-verosimilitud) son mostrados para cada iteración, junto con otra más esotérica información. Más relevante, la contribución a la función objetivo y el parámetro local estimados para una pocas parcelas son mostradas, seguido por iteración de números, función, y valores de parámetros globales.

El ejecutar puede ser abortado al pinchar el botón `Quit.` De otra manera el programa se ejcuta hasta un máximo de 999 iteraciones.

Pinchando `Next` nos vamos a:

3.5 Resultados

Una similar ventana despliega el reporte de resultados finales. El reporte comienza con la identificación de la ejecución, y la condición de término: “`CONVERGED`” para una ejecución exitosa.

Para cada parcela, la siguiente información es mostrada: Número de parcela. Número de mediciones. Contribución a -2 veces el logaritmo-verosimilitud (valores grandes señalan puntos atípicos). Parámetro(s) local(es) estimado(s). Sus errores estándar aproximados. Una estimación del índice de sitio para cada parcela puede ser obtained from the local parameter using (4).

Información general siguiente: Número de parcelas. Número de mediciones. Logaritmo-verosimilitud.

Entonces, información sobre los parámetros globales: Estimaciones. Errores estándar aproximados. Matriz de correlación aproximada entre ellos.

Finalmente, para el(los) parámetro(s) local(es): Promedio de las estimaciones. Error estándar medio. Correlación media entre parámetros locales. Correlación media entre parámetros locales y globales.

Note que todos los resultados involucran los factores de escala, si corresponde. Puede ser figurada por sustitución en (5) la edad y la altura dividida por los factores respectivos. Puede también ser obtenido a partir de el software *SitePlot*, ver abajo.

Antes de salir, el usuario es consultado para opcionalmente guardar el reporte, si aún no lo ha guardado.

Frecuentemente, aunque no siempre, uno de las varianzas estimadas tienden a ser cero. Aparentemente los datos no entregan suficiente información para separa los diferentes componentes de la varianza. Sin embargo, esto no parece tener un apreciable impacto en los parámetros de interés estimados (a, b, c, t_0). Es una advertencia en contra de la tentación de introducir más "realista" estructura de errores, pienso (ver García, 1983).

4. Graficando

SitePlot ayuda a graficar los datos y curvas de índice de sitio. Ejecutando *SitePlot* trae la ventana de la Figura 3. Esto genera comandos para *gnuplot*, un software para graficar de uso libre (incluido).

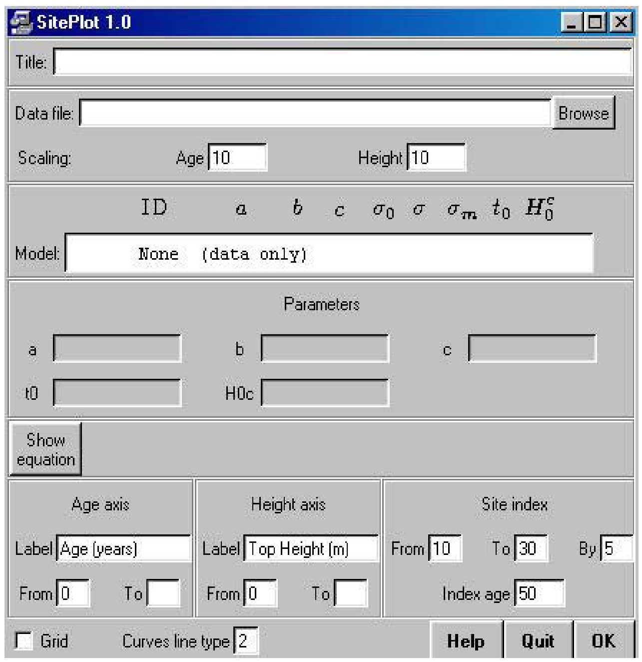

Figura 3: Graficando con SitePlot

La primera parte es similar a EasySDE. El **Título** (***Title***) aparece en la parte alta del gráfico. Sólo modelos 1 al 12 son posibles. Factores de **Escala** (***Scaling***) y valores de parámetros escalados pueden ser usados. Es posible graficar sólo los datos, sólo curvas, o ambos.

Una vez que los parámetros son dados, la ecuación de índice de sitio puede ser desplegada con el botón **Mostrar ecuación** (***Show equation***). Estas alturas dominantes como función de la edad, índice de sitio, y edad base (sección 2.2). Esto es en formato *gnuplot*, en donde es bastante estándar esperar usar ** para representar exponentes.

En la parte baja de la ventana, etiquetas y rangos para el eje de la edad y de la altura pueden ser dados o cambiados. Cualquier carácter puede ser usado para las etiquetas. Si un rango límite esta vació a la izquierda este es calculado por gnuplot automáticamente a partir de los datos y/o valores de función. La edad limite debe ser dada cuando no se grafican los datos.

Para graficar curvas de **índice de sitio** uno necesita la edad base, el rango desde el menor hasta el mayor índice de sitio, y el intervalo de índices de sitios entre las curvas.

Finalmente, nosotros podríamos escoger dibujar una grilla o no, y diferentes tipos de líneas para las curvas pueden ser seleccionadas (entre `test` en gnuplot para ver los tipos disponibles).

Si todo va bien, al presionar **OK** gnuplot es ejecutados, y el gráfico es desplegado. El usuario es dejado en gnuplot, donde el gráfico puede ser adornado, impreso (presionando en el lado derecho del gráfico de la ventana), guardado en varios formatos, etc.

Entre a `set terminal` y `help terminal` para ver los formatos de salida disponibles. Por ejemplo, entrando `set output 'filename.eps'`, seguido por `set term post eps 20` y `replot`, produce una buena calidad encapsula en un archivo PostScript.

Gnuplot es un excelente programa para graficar de proposito general, aprendiendo bien su valor. Vea www.gnuplot.info. Ahí hay un buen tutorial breve de www.duke.edu/hpgavin/gnuplot.html.

Los comandos de gnuplot son dejados en el archivo *siteplot.plt.* Esto puede ser cargado desde el gnuplot, posiblemente después de una edición manual. El archivo ejecutable del gnuplot es *Wgnuplot.exe.*

5. Referencias

Bailey, R. L., Cieszewski, C. J., 2000. Development of a well-behaved site-index equation: jack pine in north-central Ontario: comment. Canadian Journal of Forest Research 30, 1667-1668.

Bailey, R. L., Clutter, J. L., 1974. Base-age invariant polymorphic site curves. Forest Science 20, 155-159.

García, O., 1980. A stochastic differential equation model for the height growth of forest stands. Presented at the 5th Australian Statistical Conference, Sydney. http://web.unbc.ca/garcia.unbub/dfsite.pdf

García, O., 1983. A stochastic differential equation model for the height growth of forest stands. Biometrics 39, 1059-1072.

García, O., December 1996. Toward new site index curves for Douglas-fir in the Netherlands. Working paper, Royal Veterinary and Agricultural University, Unit of Forestry. http://web.unbc.ca/garcia.unbub/dfsite.pdf

García, O., 1999. Height growth of *Pinus radiata* in New Zealand. New Zealand Journal of Forestry Science 29(1), 131-145.

Piennar, L. V., Turnbull, K. J., 1973. The Chapman-Richards generalization of Von Bertalanffy's growth model for basal area growth and yield in even-aged stands. Forest Science 19, 2-22.

Rennolls, K., 1995. Forest height growth modelling. Fecm 71(3), 217-225.

Richards, F. J., 1959. A flexible growth function for empirical use. Journal of Experimental Botany 10, 290-300.

Seber, G. A. F., Wild, C. J., 1989. Nonlinear Regression. Wiley.

von Bertalanffy, L., 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws. II). Human Biology 10, 181-213.

von Bertalanffy, L., 1949. Problems of organic growth. Nature 163, 156-158.