Estudio de la compactación de los suelos sometidos a un proceso de nivelación laser.

Manuel Ribes i Dasí

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

I S B N: 84-89727-64-3
Depósito Legal: S. 54-98

Servei de Publicacions
Universitat de Lleida

TESITEX, S.L.
c/. Melchor Cano, 15
Télf. 923 - 25 51 15
Fax 923 - 25 87 03
37007 SALAMANCA

ÍNDICE GENERAL

1) INTRODUCCIÓN
2) REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA
3) MATERIAL Y MÉTODOS
    3.1) MATERIAL
        3.1.1) Descripción de las parcelas
        3.1.2) Material topográfico
        3.1.3) Material para los sondeos
        3.1.4) Material para la nivelación laser
    3.2) MÉTODOS
        3.2.1) Metodología topográfica
        3.2.2) Metodologia para los sondeos
        3.3.3) Metodología para la nivelación laser
    3.3) TRATAMIENTO DE DATOS
4) RESULTADOS Y DISCUSIÓN
    4.1) VARIACIÓN DE LA TOPOGRAFÍA
    4.2) Variabilidad espacial
    4.3) Variación de los perfiles del suelo
    4.4) Variación de las propiedades del suelo
5) CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
6) REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS
7) ANEJOS
    ANEJO nº 1) DATOS CLIMATOLÓGICOS
    ANEJO nº 2) PERFILES DE LOS SUELOS
    ANEJO nº 3) GRÁFICOS DE GEOESTADÍSTICA
    ANEJO nº 4) PUNTOS KRIGEADOS
    ANEJO nº 5) PLANOS TOPOGRÁFICOS

TECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

De vegades la importància de les coses es demostra quan es duen a terme...

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

A LA ROSER,
LA MARIA I LA LAURA.

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

AGRAÏMENTS:

Aquest treball ha estat possible gràcies a l'ajuda de molta gent que han contribuit d'una manera o altra en la seva realització. Per no oblidar-me de ningú dono les gràcies d'una manera general a tots ells.

Voldria, però, agrair d'una manera molt especial al Dr. Juan Vicente Giráldez Cervera, director d'aquesta tesi, per les seves orientacions i correccions gràcies a les quals s'ha pogut concloure aquest treball.

Al senyor A. Martí i Piró de Vilanova de Bellpuig per l'excel.lent treball d'anivellament de les parcel.les utilitzades.

Al professor J.C.Cuchí, ja que gràcies a ell vaig començar a entendre la geoestadística.

Als companys del DARP (Secció de Sòls i Fertilitzants), per la bona disponibilitat en facilitar alguns dels aparells emprats.

Al Servei de Reproducció d'Imatge de la Universitat de Lleida i, especialment al Sr. X.Piqué i Sr. X.Goñi, per als quals el tractament de la imatge no té límits.

A l'Ajuntament de Lleida per l'Ajut a la Recerca que en el seu moment va ser fonamental.
A la meva família, companys del departament i mestres de laboratori pel seu encoratjament.

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS MÁS UTILIZADAS:

A.S.A.E.:	Sociedad Americana de Ingenieros Agrónomos.
α:	Ángulo de Cono.
A:	Arena.
Ac:	Arcilla.
C.R.C.U.:	Comunitats de Regants dels Canals d'Urgell.
Ca:	Abreviatura de la unidad cartográfica: Bellvis-franca.
cat.:	Catálogo comercial.
CRAD:	Capacidad de retención de agua disponible.
D.Ap.:	Densidad aparente.
γ:	Función del semivariograma.
GEO-EAS:	Geostatical Environmental Assessment Software.
h:	Humedad del suelo.
I.C.:	Índice de Cono
I.C.C.:	Institut Cartogràfic de Catalunya.
Krigeado Std.:	Desviación típica en los datos del krigeado.
KSD3SCOMP:	Desviación típica del sondeo 3, en los datos del archivo.GRD
L-I:	Índice de nivelación.
L.G.:	Limo Grueso.
λ:	Coeficientes del krigeado.
M.O:	Materia Orgánica.
M.T.N.:	Mapa Topográfico Nacional.
μ:	Multiplicador de Legrange.
P1:	Parcela 1
P1A:	Parcela 1, antes de nivelación.
P1/A(5):	Parcela antes de la nivelación, con toma de muestra en el punto 5.
P1A5CM:	Parcela 1, antes de nivelación y a 5cm de profundidad.
P1D:	Parcela 1, después de nivelación.
P1/D(17):	Parcela después de la nivelación, con toma de muestra en el punto 17.
P1D25CM:	Parcela 1, después de nivelación y a 25cm de profundidad.
P2:	Parcela 2
P3:	Parcela 3
S.C.S.:	Servicio de Conservación de Suelos (USA)
σ:	Estimación de la varianza en el krigeado.
SCOMP:	Variables del sondeo realizado.
1SCOMP:	Primer sondeo de compactación.
T.A.R.C.:	Centro de Agricultura Tropical de Japón.
U.T.A:	Unidades de trabajo anuales.
ω:	Distancia integral.
Xa:	Abreviatura de la unidad cartográfica: Seana-franca.
Z*:	Variable estimada en el krigeado.

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

1) Introducción

1) ANTECEDENTES

La zona en la que se realizaron las experiencias está ubicada en la comarca del Plá d'Urgell. La aparición del hombre en estas comarcas se puede emplazar en el año 700 a.C. Estas zonas eran las más secas de Cataluña y de siempre el regadio había sido su principal aspiración.

En 1847 algunos particulares constituyeron una empresa, para la ejecución del Canal d'Urgell. El ingeniero Pedro de Andrés y Puigdollers elaboró el proyecto definitivo con ayuda del también ingeniero Constantino de Ardanza, proyecto que fue presentado el 3 de diciembre 1848. Con la concesión provisional en su haber, la empresa gestionó la financiación de la obra apoyándose en los propietarios de tierras a regar. Pero la concesión definitiva no fue otorgada, sino que se declaró caduca la provisional y otorgóse otra a distintos empresarios, quienes quatro meses más tarde fundaron la Sociedad Anónima denominada Canal de Urgel. Sociedad que efectivamente llevó a cabo la realización de tan ardua empresa. Se iniciaron las obras en noviembre de 1853, quedando aún pendientes el estudio de los túneles y algunas rectificaciones en el trazado (C.R.C.U,1990).

Hasta el año 1862 no llegaron las aguas del Canal Principal d'Urgell, que dió paso a una transformación muy importante. Este cambio sustancial de los cultivos principales por otros, ocasionó problemas de largo alcance, como fué el saneamiento y mejora de los suelos. Los cultivos cambiaron rápidamente y actualmente nos encontramos en unas zonas cultivadas intensamente.

La modernización del regadio ha estado una preocupación constante desde la construcción del Canal de Urgell. Pasados ciento treinta años de la llegada del agua del canal, el agricultor todavía no tiene una dotación de agua satisfactoria y tiene que continuar invertiendo para mejorar las infrastucturas de captación y distribución de agua. A partir de transformaciones agrarias de los años sesenta, se paso de una dotación de 0.4 l/s al 0.6 l/s actuales y quedan por debajo del 0.8 l considerados como óptimos a nivel de satisfacer las necesidades hídricas.

Estas dotaciones son previsibles con la construcción del embalse de Rialb, aguas abajo de la confluencia del rio Rialb con el Segre, con un volumen superior a los 400 hm^3. Hablando de futuros embalses, el Marc per el Plá d'Aigues de Catalunya cita dos antecedentes:

1) El Centre d'Estudis Hidráulics, del 1971, que propone el embalse d'Isovol, Bellver, escaldes, la Vansa, Tresponts, Oliana y Rialb, con un volumen total de 1043 hm^3, 400 de los cuales corresponderían a Rialb.

2) El informe sobre el aprovechamiento integral del Ebro, hecho por el MOPU en el año 1974, con los embalses de Isóvol, Bellver, el Pont de Bar, Escaldes, la Vansa, Tresponts, Oliana i Rialb, con un volumen total de 1679 hm^3, 450 de los cuales corresponde a Rialb.

En la actualidad y casi terminadas las obras del embalse de Rialb, se prevé que en fases sucesivas y a un año vista pueda almacenar hasta 100 hm^3 y asi poder garantizar la próxima campaña de riegos.

Toda esta concienciación y modernización en toda su red de regadio no hubiera sido posible de no contar con un relieve y geomorfología adecuadas para ello. La comarca del Pla d'Urgell se caracteriza por la extraordinaria horizontalidad de formas que predomina en toda su extensión. Las pendientes predominanates en ningún caso superan el 2%.

La gran planicie del Urgell se presenta como una plataforma ligeramente inclinada

hacia el oeste, en dirección al rio Segre. Dentro de esta planicie destacaremos algunos desniveles que no superan los 50 m, las sierras del Barret Picat, entre Linyola y los Arcs, y el Tossal Roig, entre Bellvis y Térmens.

Las condiciones físicas del llano tienen las mismas condiciones geológicas que la Depresión del Ebro, donde tiene su origen en los sedimentos del mar terciario que cubría el área. Las arcillas dominan esta sedimentación, que es la base de los suelos del Urgell. Los depósitos de gravas originarios en la época cuaternaria constituyen uno de los fenómenos geomorfológicos más singulares del Plá d'Urgell. La gran difusión de estas gravas en toda la planicie y sus características serían el resultado de avenidas de agua de ríos de comarcas próximas, que cambian su curso cuando penetran en la plana (Calvet,1977).

Las condiciones climáticas en la comarca del Plá d'Urgell, son homogéneas en toda su extensión. El clima donde se ubican las parcelas se puede clasificar, según Papadakis en: mediterráneo semiárido continental. Según la clasificación UNESCO-FAO, en mesomediterráneo atenuado.

Los inviernos son mucho más frios y los veranos más calurosos que en el litoral y sus precipitaciones son inferiores.

A partir del mes de abril y hasta mediados de octubre, la evapotranspiración potencial supera la precipitación media. Es a partir de la mitad de junio cuando las reservas hídricas del suelo pueden considerarse agotadas. Pero uno de cada cinco años se presentan déficits hídricos en el mes de mayo. La precipitación media anual es de 380 a 430 mm, con una media de 401 mm en Mollerussa, según las series más largas de información disponible. El mes de mayo es el mes más lluvioso, con 49.1 mm, y la estación más lluviosa es la primavera, con 129 mm, seguida de otoño con 116 mm.

Los veranos secos siempre han sido un hecho decisivo en esta comarca, hasta la llegada del regadio. Este hecho condujo a pasar este pasaje del clima en segundo término, pero hay otro condicionante decisivo para los cultivos de la zona: son las heladas primaverales.

Se consideran seis meses fríos durante el año, de noviembre a abril, en los que la media de temperaturas mínimas no supera los 7º. El riesgo de heladas se extiende desde la mitad de octubre a la primera semana de mayo. Los frios invernales regulan de manera decisiva el ciclo anual de los cultivos, que no tienen una incidencia directa negativa. Las repercusiones más remarcables son las heladas primaverales, que en uno de cada cinco años acostumbra a helar en la primera semana de mayo. (Boixadera i col,1993), (Aldomà, Pujades,1993), (De León,1989). Los datos climáticos a tener en cuenta en las experiencias, se resumen en el anejo nº1.

La evolución de los cultivos extensión en hectáreas por cultivos en la comarca del Pla d'Urgell se puede observar en el siguiente cuadro:

Cultivo	Años 1964	1989
Cebada	14402	4542
Trigo	1425	232
Maiz	3541	8012
Alfalfa	4825	7426
Patatas	152	172
Cultivos Industriales	212	377
Hortalizas	279	347
Cebolla	268	1060
Manzana	231	3465
Pera	230	1497
Melocotón	111	256
Viña-Olivos	964	253

Tabla 1.1: Fuente:Cámaras Agrarias locales

Los cultivos principales los podemos establecer dentro de algunas rotaciones, como son: alfalfa/trigo/maiz con 3/4 años de alfalfa y con una duración variable, el trigo y maiz. Estas rotaciones a veces varían en función de los precios de mercado y también de la disponibilidad del agua de riego. Por eso es común, la utilización de monocultivos: alfalfa, cebolla y frutales (manzanos y en menor grado perales) (Boixadera i col,1993).

La evolución del sector agrario en lo últimos decenios, está marcada por la disminución continuada de la población ocupada. Este hecho demuestra la depreciación progresiva de los productos del sector y se constituye en factor impulsor destacado de sus transformaciones:

* Las explotaciones cuentan básicamente con mano de obra familiar. Un 52% de las unidades de trabajo anuales (UTA), que representan una persona que trabaja un mínimo de trescientas jornadas anuales, corresponden a los titulares de las explotaciones.

La cantidad de trabajo y trabajadores se selecciona estrechamente con el tamaño de la explotación. Las aportaciones de trabajo medidas en UTA son muy reducidas en las explotaciones pequeñas.

* Envejecimiento y falta de continuidad. El conocimiento directo de la continuidad real de las explotaciones agrarias, daría una idea precisa del mal estado de las explotaciones actuales y de las perspectivas inmediatas del conjunto del sector agrario. El envejecimiento de los titulares de la explotación resulta espectacular y particularmente grave. Según datos recientes la mitad de estos titulares, son de edad avanzada (mayor de 54 años) y aproximadamente un 17 % no tienen cubierta la sustitución por agricultores jóvenes.

La economía del Pla d'Urgell, aún cuando los avances en la industria y actividades terciarias, continua siendo la actividad agraria. Este sector tiene el contingente de población ocupada más alto. En el año 86 era del 46% de la población ocupada. La actividad agraria se ha completado con un abanico creciente de actividades de comercialización y transformación industrial. Desde esta perspectiva tiene sentido hablar de la economía agroalimentaria de la comarca.

* Dificultades de la mecanización. Las estadísticas oficiales muestran un crecimiento continuado del parque móvil hasta nuestros días, pero el proceso de expansión se podría considerar acabados de los años setenta (Aldomà,Pujades, 1993)

Si en el caso de una producción intensiva como la frutícola un tractor puede llevar

perfectamente 17 ha, en la comarca se limita solo a 10 ha cultivadas por tractor, cifra parecida a la comarca del Segrià. Si se analiza la potencia de los tractores se comprueba, que son contadas las explotaciones de menos de 20 ha que tienen tractores de más de 60 CV, indispensables para los arados de profundidad y para movimientos de tierra.

Las tendencias actuales en la mecanización apuntan a la utilización de equipos muy especializados, acoplados o no al tractor, con un coste muy elevado. Se trata por ejemplo, de las sembradoras directas de cereal, empacadoras grandes, picadoras de forraje o sembradoras de maiz, alfalfa o cubas de purines, que en algunos casos originan la aparición de empresas especializadas de servicios a las explotaciones. La especialización creciente de las labores de campo deja las explotaciones sin medios para efectuar una gestión directa.

Ha aumentado el número de parcelas de cada explotación y también la dispersión de estas parcelas. Según el censo agrario del 1982, la comarca del Pla d'Urgell tenía una media de 5.2 parcelas por explotación, con una superficie media de 2.2 ha. Por encima de 10 ha de superficie disponible, las explotaciones superan la mediana de 5 parcelas y las explotaciones con más de 20 ha superan las 14 parcelas. Es destacable a nivel de parcela, la forma (rectangular) y las extensiones (1ha/2ha) de las mismas (observación ortofotomapa). Mediante la observación de los ortofotomapas de la zona es la característica común.

La geometría de estas parcelas ha sido debida al sistema de riego utilizado: principalmente riego de superficie mediante tablares. Por lo que una vez establecido el riego, y un tablar determinado, es lógico pensar que a lo largo del tiempo hayan existido diferentes movimientos de tierra (o transporte de material en superficie) (Sibbessen,1985).

La restauración en los puntos de origen de este material transportado es el fin de la nivelación.

Importancia del tema

El aumento importante del parque de maquinaria y equipamiento agrícola, puede conducir a lo largo del tiempo a una degradación del suelo en lo relativo a: erosión, compactación, disminución de la velocidad de infiltración y restricción del crecimiento radicular.

En lo referente a la compactación del suelo en tierras de cultivo, se ha de tener en cuenta que los pases sucesivos de la maquinaria origina en la capa arable una disminución en los rendimientos de los cultivos.

El tratar de romper esta capa arable con laboreo profundo y con pases de laboreo superficial originan otras recompactaciones que se pueden transmitir a más profundidad. Esta compactación en profundidad se denomina "suela de labor".

La nivelación con radiación laser en la comarca del Pla d'Urgell (Lleida) es un sistema de nivelación de uso común en esta comarca. En la recopilación de estas niveladoras para hacer un seguimiento y poder decidir la más idónea a nuestos fines, nos encontramos que en la misma zona, están trabajando diversas niveladoras con un rendimiento aceptable. Se ha de tener en cuenta que el periodo anual de utilización de estas nivelaciones se restringe a los meses de mayo a noviembre por cuestiones de calendario de riego o bien circustancias climatológicas.

No se tienen datos sobre el ahorro de agua que se puede generar, ni tampoco las pérdidas económicas derivadas por el encharcamiento producido por el sistema de riego utilizado, lo que si parece un sentido común en la zona, es que el avance del agua de riego sobre la parcela tiene que ser gradual y constante en todos los puntos.

Las pérdidas económicas producidas por la compactación en esta comarca, no han sido evaluadas, por lo complejo que puede resultar; no obstante si se han hecho aproximaciones al respecto, que dan cifras importantes a la hora de realizar tal evaluación

(Arvidsson,1991), (Oskoui,1991).

La influencia de la nivelación laser sobre los cultivos posteriores, puede tener los efectos que tendría cualquier tráfico de maquinaria normal: -Daño directo en el crecimiento de las plantas.

-Efectos de compactación en la capa arable.

-Efectos residuales en la capa arable, después de disminuir la tensión a que ha sido sometido.

-Efectos de compactación en el subsuelo y otros efectos u observaciones a estudiar (Håkansson,1987).

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

2) Revisión bibliográfica

Esta revisión bibliográfica pretende analizar los conceptos e indicaciones que hagan referencia a las bases tanto teóricas como prácticas que dan pie a esta tesis: Estudiar los efectos de la compactación de la maquinaria cuando se está nivelando unas parcelas.

Las palabras clave para realizar un análisis de las situación sería: Compactación y nivelación laser. Cuando se consideran los dos conceptos a la vez, el número de referencias se reducen notablemente, cosa que no ocurre si se toman las dos palabras clave por separado. De la primera palabra clave: compactación, el número de referencias es muy importante, pero haciendo exclusión de las mismas y atendiendo a:

1) Nuevas propuestas para el estudio de la variabilidad del suelo.
2) Métodos de medida de la compactación.
3) Medición de la compactación analizando las posibles deformaciones del suelo.
4) Influencia del tráfico agrícola en la compactación.
5) Efecto de la compactación sobre las raices de las plantas.
6) Análisis de las fuerzas teóricas exteriores que la originan.
7) Análisis económico.

La nivelación por radiación laser será considerada desde la perspectiva de precisión (8) y su efecto sobre la redistribución del suelo (9).

1) NUEVAS PROPUESTAS PARA EL ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD DEL SUELO.

Todo parece indicar que habrá nuevas líneas o enfoques para tratar la variabilidad de los suelos. Estas nuevas tendencias son las tratadas por P.A. Burrough (1993), en una revisión de las causas y efectos de la variación de los suelos. Cita el progreso que se ha realizado durante los últimos veinte años y la evolución que ha seguido el proceso de almacenar y grabar toda la información de campo. Los mapas de suelos cada vez contienen más información sobre las propiedades de los mismos. Los métodos estadísticos clásicos para la estimación de la varianza de algún atributo del suelo tienen poco significado, a menos que se exprese con respecto al tamaño y tipo de unidades para las cuales se estimaron. Las bases de datos digitales, métodos mejorados para el almacenamiento y el análisis geoestadístico de los datos nos lleva a decir que se pueden hacer estudios muy detallados de la variabilidad.

* **Conceptos desarrollados para entender la variación del suelo.** El primero es pragmático: un punto de observación de la variación del suelo puede ser extrapolado a superficies extensas. El segundo concepto es de curiosidad científica, en que la formación de procesos en el suelo pueden conducir a una diversidad natural y antropológica. Estos dos conceptos deben ser complementarios para entender el proceso que debería conducir a una racionalización de formas. En la práctica, estos dos conceptos no se citan, y pueden ser estudiados por diferentes científicos que raramente comunican en términos comprensibles.

** Variación del suelo como resultado de procesos de formación. El grado de variación depende del tipo de suelo en procesos de formación y su balance en el espacio y tiempo. Las fluctuaciones meterológicas y el flujo de materia y energía en el perfil del suelo ocasionan variaciones. Así una excesiva acumulación de agua puede dar lugar a eluviación de arcillas y materia orgánica desde horizontes superiores a otros más profundos donde pueden concentrarse y depositarse.

** Modelos conceptuales de variación del suelo. El modelo discreto o convencional (modelo de Feselar), preconiza que los cambios bruscos en los límites del suelo, varían de

una manera limitada de modo que, a nivel de serie, la unidad de mapa representa un suelo homogéneo (pedión). El modelo contínuo asume que los valores de las propiedades del suelo varían gradualmente por encima del paisaje y que esta variación es gradual y puede ser aproximada por superficies matemáticas.

** Variación espacial derivadas de las propiedades del suelo. La incertidumbre en el valor promedio de una propiedad del suelo para un área determinada de tierra es debida a: - proceso de medida.

-el nivel de variabilidad espacial que afecta a un punto puede aplicarse en áreas más extensas.

- el método usado para las suposiciones adoptadas.

- las incertidumbres en los valores de parámetros de control que estos métodos usan.

Si la propiedad se ha estimado mediante un modelo, los resultados dependerán de la base conceptual del modelo. El error de medida, elección del modelo y la calibración son más fáciles de controlar que la variación espacial de las propiedades del suelo.

** Muestreo del suelo y variabilidad. Es muy importante saber como y donde necesitamos extraer una muestra de suelo. El segundo problema es, como relacionar el valor del atributo del suelo obtenido, a la superficie de terreno respecto del cual se requiera la información.

Para muestreos basados en aproximaciones se puede utilizar la geoestadística. El muestreo trata la variación del suelo sin ser aleatorio y regularmente espaciado mediante líneas transversales o rejillas de determinadas dimensiones.

** Relación de los datos desde el punto de muestreo a superficies mayores. A partir de unidades de mapas de suelos (presumiblemente) homogéneas, y que el punto donde se midió la propiedad es representante de esta unidad, mediante técnicas de interpolación, asume cierta variación contínua y constante.

* Adelantos técnicos en informática, para grabar, guardar, y manejar datos de campo.

El trabajo realizado por diferentes organismos internacionales (Sociedad Internacional de Ciencias del Suelo), intentó ordenar toda la información. En una primera fase se cuantificaron todos los datos disponibles y se digitalizaron los perfiles del suelo existentes. Hoy en día estos sistemas de información se siguen utilizando (con ordenadores más potentes), con los mismos criterios, pero perfeccionando los planes de muestreo, y vinculándose a imágenes de teledetección, para conseguir modelos cuantitativos sobre rendimiento de cosechas, erosión, traslado de materia de suelo por el movimiento descendiente de agua en el suelo, lixiviación, o escurre sobre la superficie.

* **Clasificación numérica, continua**

** Clasificación numérica. En teoría las clases, o bien los perfiles de suelo, deberían representar modelos clasificadores. En la clasificación de multiples variables (multivariante) las clases de suelo eran poco coherentes espacialmente. Hubo un esfuerzo para que los métodos de clasificación numérica fuesen consistentes, pero no se llegó a buenos resultados. La interpolación y el método de las componentes principales fueron útiles para separar diferentes modelos multivariantes.

** Continuidad o clasificación difusa. Muchos atributos del suelo no son cuantitativos y no pueden medirse exactamente. En vez de decir que un perfil de suelo pertenece o no pertenece a una clase determinada, uno puede admitir individuos intergrados, sobre una escala que va del 0 al 1.

Los modelos lógicos para derivar los nuevos atributos del suelo están en vigor en planes jerárquicos de clasificación. La clasificación contínua es más robusta y preserva la información mejor contenida que la lógica estricta de Boole, particularmente cuando el suelo

varía continuamente. Uno de los aspectos para usar clases contínuas en datos del perfil es que los resultados requieren métodos numéricos de interpolación para extrapolarlos a áreas más grandes.

* **Métodos geoestadísticos para estudiar la variación contínua del suelo.** Los primeros intentos estadísticos de análisis de la variación del suelo, estaban para la determinación del límite a lo largo de perfiles transversales en una sola dimensión, que conducía al descubrimiento de series de correlación en los datos y en el uso de métodos de análisis de series temporales para estudiar problemas de variabilidad espacial. El análisis de series temporales usa el autocorrelagrama, la geoestadística el semivariograma.

** Teoría de las variables regionalizadas: hipótesis intrínsecas y semivariograma. Los métodos geoestadísticos asumen que la variación de las propiedades del suelo sobre el espacio pueden ser modeladas aleatoriamente pero correlacionadas estoicamente y espacialmente en campo. Tales propiedades son asumibles por las variables regionalizadas. El semivariograma es el primer paso hacia la descripción de la variación regionalizada. Diferente es el covariograma que no está afectado por la estacionariedad de los datos y por lo tanto indicarnos también variabilidad espacial.

** Uso del semivariograma para la interpolación: krigeado. El semivariograma es esencial para determinar los pesos que más tarde se usarán en la interpolación. Esta es la base del krigeado que es un método para estimar (interpolando) el valor de las propiedades del suelo a partir de observaciones aisladas. Los primeros en utilizarlo fueron los ingenieros de minas G.Matheron (1971) francés y D.G.Krige sudafricano.

** Conclusiones generales de los estudios geoestadísticos:

-El krigeado es una técnica óptima de interpolación; la estimación de los errores es más pequeña que en otros métodos que utilizan los mismos datos.

-El redondeo de la variación verdadera, es fácil de estimar y el ajuste del semivariograma se puede hacer mediante la corrección de la pepita"nugget".

-Cuanto mayor sea el número de datos disponibles, mejor será la estimación del semivariograma.

-Una vez el modelo del semivariograma se ha adaptado al semivariograma experimental, los errores de predicción en el punto, depende de la forma del modelo de semivariograma y no del valor de los datos.

-El krigeado por bloques es un método útil para estimar datos representativos de extensiones más grandes de tierra.

-Los satélites (outliers) ocasionarán y aumentarán los errores de predicción.

-La mayoría de técnicas de interpolación, incluyendo el krigeado, redondean los datos, de modo que los extremos grandes y pequeños se han hecho inapreciables.

-Cuando los datos son dispersos, no todos los métodos geoestadísticos darán un mapa con garantías.

-Cuando los datos son abundantes los métodos de interpolación se comportan similarmente.

-De todos los métodos de interpolación, los polígonos de Thiessen dan la imagen de un mapa aceptable.

-Los métodos combinados con mapas coropletas, la interpolación contínua puede dar mejores rendimientos si los datos son suficientes.

-Es importante considerar el tamaño, en relación a la unidad de tierra, para que la información sea suficiente.

Uno de los principales problemas para el uso del krigeado es el poder disponer de los programas necesarios, porque a veces no está al alcance de todos. En la actualidad esta

situación ha cambiado y mejorado con programas como GEOEAS (England & Sparks, 1988) de dominio público.

* **Fractales.** Hay experiencias realizadas en el suelo que a veces resultan difíciles de dar explicaciones sobre la variabilidad de las medidas. Folorunso et al (1994) analizó la consistencia de la capa superficial de diferentes suelos, mediante un penetrómetro, a diferentes profundidades, y siguiendo unos determinados perfiles transversales. Estas medidas de fuerza no eran homogéneas, e intentó explicarlas mediante un proceso fractal.

El concepto de fractal, se fundamenta en base a la idea de la repetibilidad; la manera en que variaciones de un objeto en una escala determinada, son repetidos a otra escala. Si un objeto en M dimensiones está cubierto por M-dimensiones "cubos", teniendo una longitud de lado d (y previendo que es fractal), el número de cubos N (δ), que se necesita para cubrir el objeto varía como δ^{-D} (cuando $\delta \rightarrow 0$) (ejemplo, δ y N (δ) están relacionados por:

$$N(\delta) = C/\delta^{-D}$$

C es constante de proporcionalidad, y D es la dimensión de Haussdorf-Besicovitch, llamada usualmente dimensión fractal. Lo importante es la determinación de la dimensión D, para cada uso. Para una función fractal lineal, la dimensión D, puede variar entre 1 (completamente diferenciable) a 2 (espacio bidimensional). Para superficies, el intervalo correspondiente de D está entre 2 y 3, y para volúmenes entre 3 y 4.

Modelos espaciales,variabilidad del suelo y teoria del caos

La teoría del caos puede ser una herramienta de uso práctico, que puede traer nuevos conocimientos (en la variabilidad) del suelo. Estos estudios pueden ayudar a responder la pregunta de que si es posible predecir la variabilidad del suelo en el espacio o tiempo que comienza con la formación de factores y modelos cuantitativos de procesos, o si se debe confiar siempre en los métodos geoestadísticos para la evaluación cuantitativa.

Conclusiones

En los últimos veinte años se ha investigado sobre el problema de la variabilidad del suelo bajo diferentes puntos de vista y el fenómeno de los problemas de la eficiencia del uso del suelo. Los mapas de suelo en la actualidad son mucho más completos y pueden llevar toda la información que se requiera.

La estimación de la varianza de las propiedades del suelo tiene poco significado a menos que esté expresada con respecto al tamaño y género de las unidades espaciales para cada uno que se ha estimado. Las bases de datos digitales y los métodos mejorados para las colecciones de archivos y el análisis geoestadístico significan que los estudios detallados de la variabilidad del suelo y sus consecuencias, pueden ser estudiadas fácilmente.

Los mapas de errores y modelos cuantitativos de los procesos de campo pueden ser optimizados.

La variabilidad temporal está poco tratada, pero sigue una tendencia ascendente. La necesidad de estrategias eficientes para disponer de más datos cuantitativos sobre la superficie del suelo, y sus cambios temporales pueden ser importantes próximamente.

La inexactitud del suelo como fenómeno, ha sido aproximado por clasificaciones numéricas, métodos estadísticos multivariantes, clasificación contínua, métodos fractales, morfología matemática y la teoría del caos. En estos momentos la geoestadística parece responder a las preguntas sobre la variabilidad del suelo más inmediatas.

2) MÉTODOS DE MEDIDA DE LA COMPACTACIÓN.

Si se analiza este fenómeno, se puede decir que la compactación es una disminución de volumen en una estructura tan frágil como es el suelo. La reducción del tamaño de los

poros conlleva a un cambio de forma y por lo tanto a una modificación de las características físicas del suelo, especialmente la retención y transmisión de fluídos y calor.

No es fácil obtener una medida representativa de cada suelo, porque depende de infinidad de relaciones intrínsecas de cada uno. Por lo que la generalización en este caso puede llegar a no ser del todo correcta.

Se debe analizar en la actualidad las diferentes tendencias que existen a la hora de realizar tales medidas:

1) Las que se basan en la determinación de la densidad aparente de los suelos.

2) Las que utilizan un vástago metálico (penetrómetro), que se hace descender en un suelo determinado, valorando la resistencia que el suelo produce. Es el método más sencillo y el que nos da más información.

3) La utilización de medidores eléctricos en la deformación del suelo.

La primera tendencia basada en la medida de la densidad aparente es de difícil determinación, puesto que al intentar extraer una porción de suelo a diferentes profundidades reviste cierta dificultad. Los paises nórdicos son los que más han analizado el fenómeno de compactación, en cuanto a objetivos, posibilidades y perspectivas (Håkansson,1990). Se define el grado de compactación como la relación entre la densidad aparente en seco (%)de un volumen de suelo y la densidad aparente en seco del mismo suelo compactado a una presión de 200 kPa. A pesar de que estos aspectos teóricos darían determinaciones precisas, en la práctica son difíciles de utilizar, sobre todo por los instrumentos de medidad necesarios en campo. Håkansson (1989), ha diseñado el edómetro cilíndrico que permite someter a un determinado suelo la presión especificada anteriormente.

El que hoy en dia los penetrómetros sean los más utilizados se debe a que:

* son rápidos, fáciles, y económicos.

* los datos pueden analizarse fácilmente, sobre todo si tienen salida gráfica.

* son los más adecuados para tipos de suelo arenosos, donde es fácil la alteración del suelo (Perumpral, 1987).

Una revisión histórica sobre las aplicaciones del penetrómetro la realizó Perumpral. El uso del penetrómetro se inició alrededor de 1846. Un penetrómetro de aguja 1 mm de diámetro y 1 kg de peso fué empleado para estimar la cohesión de varios tipos de arcillas. Se han hecho muchas modificaciones desde entonces, tanto desde el aparato en sí, como en la manera de ser accionados para perforar el terreno.

Soane (1973) el penetrómetro que ideó es de accionamiento eléctrico.

Osburn et al. (1970) utilizó el registro gráfico con una salida en representación cartesiana.

Howsan (1977) sistema mecánico de representación sobre un papel en disco y en coordenadas polares.

Wells et al. (1981), O'Sullivan et al. (1983), Woodrutt y Lenher (1984), recogen los datos en soporte magnético a determinados profundidades.

Smith, Dumas (1978) utilizan el accionamiento eléctrico, permitiéndole medir valores del Índice de cono de hasta 14000 MPa.

Wilford et al. (1972), su accionamiento es hidráulico y producido por los tres puntos de un tractor. La velocidad de penetración en el suelo es prácticamente constante.

Riethmuller et al. (1983), el sistema de medida es mediante un ordenador y el sistema de accionamiento es hidráulico. Los ensayos son imprimidos y pueden ser analizados.

Wilkerson et al. (1982) utilizan los mismos mecanismos que los anteriores, a una profundidad de 61 cm, con una anchura de trabajo de 3.2 m, lo que le permite ensayar sobre cuatro líneas de cultivo.

Hooks y Jansen (1986) pueden alcanzar hasta una profundidad de 1.25m.

En el departamento de Mecanización Agraria y Construcciones Agroindustriales de la Universidad de Córdoba han diseñado y construido tres prototipos de penetrómetro que se adaptan a distintas necesidades, todos ellos siguiendo las recomendaciones de ASAE (Agüera,1991).

El primero de ellos Agüera (1986), diseño un bastidor soportado por el enganche tripuntal de un tractor. Unas marcas cada 5 cm. grabadas sobre la corredera inferior del bastidor, sirven de referencia para su posicionado.

El segundo prototipo se eliminó el bastidor. El cilindro hidráulico se situó en un punto fijo del tractor. El sistema de medida y registro es similar al anterior con la excepción de emplear un sensor potenciómetro de hilo para la determinación de la profundidad.

El tercero es de accionamiento manual y totalmente autónomo. Los valores instantáneos de IC y profundidad, pueden leerse en los visores numéricos de cuarzo líquidos situados en la cara superior de la caja donde se aloja el circuito. Un ordenador portátil se encarga de grabar en disco los datos de IC a intervalos de 5mm de profundidad a la vez que dibuja en pantalla la curva.

Los penetrómetros horizontales se utilizan para analizar la resistencia del suelo en cada perfil. La aplicación es hidráulica y se sondea transversalmente al perfil. Se utiliza en tipos de suelos con paredes vistas (zanjas, calicatas) (Manor et al. 1989).

En laboratorio se utilizan los llamados micropenetrómetros. El diámetro que se utiliza es comparable al de una raiz (150 μm, 14º cono), y permite medir las variaciones de resistencia del extremo en las distancias que pueden alcanzar 0.1mm. Las medidas de esta precisión permiten caracterizar las zonas de fuerte resistencia a la penetración y evaluar la frecuencia de zonas de débil resistencia a la penetración y evaluar la frecuencia de zonas de débil resistencia que pueden ser exploradas por una raiz en crecimiento. El análisis espectral constituye una nueva forma de caracterizar la estructura de los suelos. Se realizó un estudio con nueve clases de agregados, en los que los diámetros variaban de menos de 0.36mm a 0.64-12.8 mm. Los análisis han demostrado que los agregados más grandes son también más resistentes a la penetración (Grant, 1985).

El ensayo de resistencia a la penetración es actualmente el más extendido en la valoración del estado de compactación de un suelo, siendo además el mejor estimador de la dificultad mecánica para el crecimiento de las raices de las plantas en el suelo. También se puede comprobar que en la determinación de dicho valor existen un gran número de factores, tanto del suelo como del propio aparato, que obligan a proceder con especial cuidado en su interpretación y por lo cual son necesarias bastantes medidas para obtener cierta fiabilidad (Muñoz,1993).

3) MEDICIÓN DE LA COMPACTACIÓN ANALIZANDO LAS POSIBLES DEFORMACIONES DEL SUELO.

Es un sistema desarrollado por Erbach et al. (1991) que miden las deformaciones a que está sometido un suelo, por el pase sucesivo de maquinaria agrícola. Es un sistema fijo en el que se tiene que realizar una instalación eléctrica previa. La sonda formada por un par de hélices es enterrada verticalmente en el suelo, unida a la red y a un poténciometro.

El sistema puede detectar los esfuerzos producidos por la maquinaria sobre las hélices, lo que ocurre es que los datos solamente solo son referibles a una sola profundidad y la instalación es fija una vez ha quedado enterrada la sonda.

4) INFLUENCIA DEL TRÁFICO AGRÍCOLA EN LA COMPACTACIÓN

La cuantificación de la intensidad de tránsito en un punto determinado de una parcela es difícil. Además si luego se han de estudiar los efectos sobre los suelos y cultivos con el fin de predecir posibles alternativas tanto en el suelo como en el diseño de la maquinaria, aún lo es más.

Para cada labor agrícola que se realice, se necesitaría responder a cuatro preguntas base:

¿Cuánto vale la fuerza que va a compactar el suelo?

¿Cuáles son las condiciones del suelo en el tiempo en que se realiza la operación.

¿Donde se necuentra el punto de paso del neumático respecto a la planta emergente?

¿En que etapa de crecimiento de la planta se produjo el tránsito? (Håkansson et al 1987)

Específicamente las variables que responderían a esta serie de preguntas, se podrían clasificar en orden a su influencia sobre la capa de arado:

* grado de humedad.
* número de pases de la maquinaria.
* peso del tractor.
* equipo de ruedas (sencillas, dobles).
* presión de hinchado de los neumáticos.
* velocidad en giros (virtualmente insignificante).

Se realizaron diferentes estudios en paises (Norte de Europa y América) con climatología y problemática semejante.En Québec Lavoie et al (1991) estudiaron estas mismas variables y con resultados parejos:

-En subsuelo comunmente tiene una fortaleza más alta que la capa arable, los estados físicos cambian menos.

-Los neumáticos usados a una profundidad de 40 cm o más la compactación se hizo más visible cuando el eje de carga excedió a 6 Mg.

-La relevancia en todos los casos del contenido en arcilla.

Todos estos resultados se podrán inscribir en recomendaciones porque en base a ello se ha podido reflejar en una fórmula empírica, pero con unos resultados significativos no muy satisfactorios.

Las dos fases a relacionar en este apartado serian Suelo-Neumático. Se podría afirmar que en un neumático flexible con una presión de hinchado determinada ejerce sobre un suelo medianamente firme una presión de igual magnitud que la del neumático. Okello (1990) realizó un modelo teórico en que enumeró las variables (treinta y ocho) que pueden influir en estas dos fases. Además de este modelo teórico dedujo algunos principios básicos en compactación que si bien parecen evidentes conviene remarcar:

-Para suelos relativamente duros para el neumático, el hundimiento es pequeño. En su modelo la deformación del neumático es ancha y el perfil en dos dimensiones está formado por la combinación de una sección plana y una sección espiral. Estas dos secciones formadas son elegidas para predecir la distribución de la presión del suelo y el índice de tracción del neumático en base a que solo se considera una profundidad de hundimiento en la capa arable. Por otra parte si el neumático es más duro que el suelo, el hundimiento es ancho y la deformación del neumático es comparativamente pequeña.

Todo ello para poder diseñar neumáticos y máquinas que puedan producir efectos menores en la compactación de suelos. En el diseño de neumáticos parece que la línea a seguir puede ser la adecuada, en cuanto a las máquinas parece que de momento el cambiar

forma y tamaño de ellas, no parece económicamente viable tal transformación. En el caso de cosechadoras (Froehlich et al.1990) parece que puede haber algún tipo de recomendaciones a seguir: su prototipo de cosechadora a estudiar es la separación del cuerpo general de la máquina en dos partes: recolectora y remolque, aunque en un futuro inmediato parece inviable.

5) LAS QUE ESTUDIAN EL EFECTO DE LA COMPACTACIÓN SOBRE LAS RAICES DE LAS PLANTAS.

Existen infinidad de experiencias para comprobar la influencia de la compactación en el crecimiento de las raices, debido principalmente a que todo obstáculo a que las raices se desarrollen regularmente ocasionará un descenso en la productividad.

El incremento de la compactación en los suelos dá como resultado una gran concentración de raices en la capa superficial (0-10 cm) y en un menor enraizamiento en profundidad. En cuanto al crecimiento de las raices estará caracterizado por un mayor grado de debilitamiento, crecimiento tortuoso, células de la epidermis distorsionadas y por células de la corteza alargadas radialmente (Lipiec et al,1991).

Para la mayoria de las plantas la resistencia que han de encontrar las raices en su crecimiento tiene que ser menor a 3 MPa. Existe equanimidad a la hora de establecer esta presión. Barley et al (1965) encontraron que el crecimiento de las raices de guisante se restringe en los suelos en los que el punto de resistencia está a 30b (3MPa). Además la presión teórica requerida para que se expanda el ápice es de 6 b que es menor que la máxima presión que la raiz pueda ejercer (8 a 10b) (Greacen et al.1966).

Se dá la coincidencia de que en parcelas, en las que se ha realizado experiencias de compactación, un claro valor del IC superior a 3 MPa en una zona determinada, denota la presencia de una suela de labor (Muñoz, 1993).

6) ANÁLISIS DE LAS FUERZAS TEÓRICAS EXTERIORES QUE LA ORIGINAN.

El modelo propuesto por Farrell y Greacen (1965) trata de asumir lo ocurrido durante el recorrido del penetrómetro en el suelo. Ellos propusieron que en la realización del sondeo, se crea una cavidad esférica en la punta del penetrómetro, por efecto de dos tipos de deformaciones del suelo, suponiendo que éste es homogéneo o isotrópico. Las deformaciones están producidas en zonas diferentes del suelo. Una falla plástica se produce en la zona interna, y su radio de acción se puede estimar de 6 a 10 veces mayor al radio de la sonda, mientras que envolviendo a esta zona se produce una compresión elástica.

La fuerza media que actúa sobre la superficie del cono se asume que es igual a la requerida para formar una cavidad en el suelo lo suficientemente grande para acomodar la sonda en el suelo. La resistencia total a la penetración es la suma de una componente debida a la formación de la cavidad y de otra componente debida a la fricción entre el suelo y sonda.

El ángulo de cono influye en la resistencia específica. Para ángulos mayores habrá mayor resistencia, ya que el suelo tiende a ser desplazado verticalmente. Si el ángulo es menor el desplazamiento producido es lateral. Este desplazamiento lateral es el que mejor se asemeja al crecimiento radicular, y el desplazamiento vertical al que forman los aperos al remover el suelo.

Suponiendo que la resistencia de fricción entre el vástago de la sonda y el suelo se desprecia; la resistencia normal (puntual), P_n, es

$$Pn = \frac{P_r}{1 + \tan \upsilon \ . \ \cot (\alpha/2)}$$

siendo Pr: Resistencia total puntual, υ ángulo de fricción entre suelo y metal y

α [ángulo de cono.

En el sondeo, la fuerza resultante en el suelo es directamente proporcional al ángulo (υ) por debajo de la normal a la superficie del cono. La magnitud de esta fuerza, la resistencia específica P_s, es:

$$P_s = \frac{P_n}{\cos \upsilon}$$

La resistencia puntual o normal (P_n) se puede correlacionar mejor con la velocidad de crecimiento de las raices. Sin embargo la resistencia específica (P_s) se puede utilizar para producir cambios texturales, por el pase de los brazos del apero.

7) ANÁLISIS ECONÓMICO.

Se pueden hacer estimaciones para valorar el coste económico derivado de la compactación. Estas estimaciones no están exentas de dificultades a la hora de establecer un dato concreto.

Arvidsson et al (1991), han analizado en Suecia estos costes, dando lugar a unos resultados bastante precisos, ya que han creado unos modelos que parecen dar respuesta a toda la problemática planteada. Los modelos propuestos se basan en análisis estadísticos de resultados de campo. Este modelo consta de cuatro componentes, y la pérdida total de rendimiento se calcula como la suma de las componentes individuales. Los datos a trabajar:

1) Tipo de cultivo (valor de los productos cultivados, contenido en arcilla).

2) Información específica de las labores agrícolas: anchura de trabajo, peso de la máquina, ancho de rueda, presión del neumático, condiciones de humedad en el suelo, cantidad de tránsito extra (entradas, salidas, pases sucesivos). La humedad del suelo la clasifican sobre una escala subjetiva desde 1 (muy seco) a 5 (muy húmedo), y las denominan clases.

La primera componente calcula mediante desarrollos empíricos el grado de compactación (D). Apartir de este dato y mediante tablas llegan a estimar el tanto por ciento en pérdidas.

D = 68.2 + 23.7 x (Clase de humedad del suelo) - 7.82 x (Clase de humedad del suelo)^2 + 0.002 x (Peso del eje de la rueda (kg)) + 4.8 x log (Presión de hinchado ruedas (kPa)) - 0.055 x Ancho de rueda (cm)

R^2 =0.45

La segunda componente analiza el tránsito de vehículos pesados en una parcela, ya que los efectos del rendiemiento de la cosecha eran proporcionales a la intensidad de tránsito (Mgkmha^{-1}), y relacionados también con el contenido en arcilla. El tipo de neumático y la humedad del suelo son necesarias para encontrar un factor de corrección (Mgkm-corr): Figura 2-1

Una vez referida la presión de las ruedas con la tabla se puede calcular el factor de corrección, y también la pérdida de rendimiento de los cultivos (año,ha):

$$Y(\%) = 0.00154 \times Mgkm\text{-}corr \times \text{Contenido de arcilla}(\%\ w/w)$$

La tercera componente intenta analizar las pérdidas de rendimiento en el subsuelo (25-40 cm y >40cm), analíticamente:

25-40cm $$Y(\%) = \frac{MghKm\text{-}corr}{40}$$

>40cm $$Y(\%) = \frac{MghKm\text{-}corr}{400}$$

La cuarta componente, es debida al daño mecánico de la maquinaria a las plantas, ya que analiza el número de cortes para ensilado en una determinada pradera. En este caso se considera un rendimiento relativo (Y):

Y = 125 - 5.79 x Clase de humedad - 12,4 x nº de cortes -0.63 x Latitud x Año de pradera R^2=0.55

La latitud se refiere a la diferencia entre el lugar donde se encuentran las experiencias y la punta sur de Suecia. En esta componente los contenidos en arcilla y los efectos del vehículo en si no fueron considerados.

El análisis de las consecuencias económicas en la compactación de los suelos se hacen por creer que el suelo es un recurso agotable y que su valor cambia con el paso del tiempo. Es difícil hacer estas estimaciones, porque para aumentar las producciones a veces el uso de maquinaria también lo hace en la misma proporción, con los problemas que aquí podrían derivar.

La creación de modelos teóricos, para estudiar estas consecuencias económicas, son útiles en zonas donde este problema es importante, y donde la disminución de rendimientos de los cultivos, así lo han requerido. Conviene decir que tales modelos teóricos no son exportables en toda su extensión, ni tampoco limitarlos a una zona determinada.

Oskoui et al (1991) han creado otro modelo totalmente diferente al anterior pero que los resultados a nivel de pérdidas globales son muy parecidos. El desarrollo del modelo teórico se basa en tener en cuenta los siguientes parámetros:

V: productividad de un suelo varía con el tiempo "t" V=f(t)

tiempo 0 $\rightarrow$ t_s(tiempo inicial) $\rightarrow$ V_s

El aumento de valor del suelo $\rightarrow$ V_{at}

La disminución de valor del suelo $\rightarrow$ V_{dt}

$$V = V_s + \sum_{t=1}^{n} (V_{at}) + \sum_{t=1}^{n} (V_{dt})$$

Siendo n el límite superior en el que el periodo de tiempo por encima de la valoración que se ha llevado a cabo,

V_a: suma de todos los inputs adicionados al suelo (fertilizantes, agua...,).

V_d: suma de todas las extracciones del suelo (m.o,minerales,erosión...,).

El valor inicial del suelo para usos agrícolas.se puede definir como la capacidad de producción que tiene. Para su cálculo:

$$Vs = \sum_{t=1}^{N} (Yn \times Pn \times An)$$

Siendo P, el precio medio del producto ($/Mg), A, la superficie de cultivo (ha), N, el número total de cultivos y productos, e Y la producción (mg/ha) (es función de la composición física y química del suelo afectado por la mecanización.

El valor añadido cambia porque la estructura del suelo es alterada para incrementar la productividad y el valor del suelo.

$$V_a = \sum_{t=1}^{M} (Ym \times Pm \times Am)$$

Muchas actividades en la mecanización causan niveles inaceptables en la compactación de suelos. Depende del tipo de suelo, y de las condiciones climáticas.

Desventajas de la compactación de suelos (CP):

Es la suma de todos los factores adversos para la productividad:V_{yt}

Destacaremos los componentes que influyen:

V_{yl}: Pérdida de producción en los cultivos.

V_{ec}: Coste adicional de la energía.

V_{ap}: Coste adicional polución del aire.

V_{ec}: Coste adicional del capital.

V_e: Coste adicional de la erosión.

$$CP = \sum_{m=1}^{M} (V_{yl} + V_{ec} + V_{ap} + V_{ec} + V_e)$$

La compactación es una causa de la pérdida de producción o bien una reducción en el valor del suelo, V_{yl}.

a)Propiedades físicas semejantes a porosidad y distribución, porosidad total, densidad, conductividad hidráulica.

b)Propiedades mecánicas: consistencia del suelo, cohesión y fricción.

c)Propiedades químicas y biológicas: potencial redox, movimiento de nutrientes y carbono orgánico, pH, y salinidad.

El dinero perdido en $/ha, se puede calcular:

$$V_{y1} = \sum_{M=1}^{M} (Ym \times Pm \times Am)$$

Es función de los efectos combinados:$Y = K_1 + K_2 \times (\text{Compactación}) + K_3 \times (\text{Compactación})^2$ (K_1,K_2,K_3: coeficientes)

La compactación (CP) es una medida de la consistencia del suelo porqué es función de la densidad aparente, tipo de suelo y contenido en humedad.

El indice de cono (CI) es una buena medida que combina los efectos del tipo de suelo. Este índice es el usado para medir la consistencia del suelo en la ecuación anterior.

La compactación de suelos afecta a la cantidad de energía necesitada en diferentes operaciones. La alteración de la textura del suelo por medio de equipos cortadores (arados, sembradoras y subsoladores) es función de la consistencia del suelo, peso específico del suelo, geometría del equipo y la velocidad de la operación:

Z= Consistencia suelo+Peso Específico x Geometría equipo x Velocidad^2

donde la consistencia del suelo puede ser calculada desde parámetros de suelo y contenido de humedad.

(Witney et al,1984), las especificaciones del equipo son generalmente: ancho, profundidad, ángulo de aproximación. La velocidad de la operación es la actual: velocidad de campo. El arado de parcelas de cultivo es una de las operaciones que más potencia necesita, y amenudo se usa para desterrar profundidades medias compactadas.

Esta operación se usa para calcular la cantidad extra de energía requerida para arar el suelo como resultado del exceso de compactación,

$$Z= c \times \delta \times V^2_p(1 - co\ \theta) / g$$

donde

Z: resistencia específica al arado (kN/m^2)

Vp: velocidad de arado (m/s)

g: aceleración de la gravedad (m/s^2)

δ: peso específico del suelo (KN/m^3)

θ: es el ángulo de inclinación del arado (rad)

K_1, K_2: coeficientes que experimentalmente en suelos ingleses dan unos valores: K_1: 37.59 K_2: 23.90

Esta ecuación fué verificada por diferentes investigadores en series de suelos americanos.

En algunos trabajos se ha desarrollado una fórmula para intentar predecir la consistencia del suelo (CI) usando la cohesión (contenido de humedad del suelo) y peso (volumen-densidad) parámetros relacionados en la siguiente expresión:

$$CI = K_M \times MC^{-n} + K\delta \times \delta$$

siendo:

CI: es la consistencia del suelo (parámetro leido por el índice de cono (kN/m^2)

MC: contenido de humedad en el suelo (%), n: es el exponente, y d

es el peso específico del suelo.

K_M, K δ, son coeficientes que dependen ligeramente de la textura del suelo.

La tracción utilizada en cada labor agrícola también es importante. En suelos ligeros, la compactación tiene aveces efectos positivos. No obstante en suelos consistentes se preconizan algunos valores teniendo en cuenta:

-el ancho de los neumáticos.

-la presión de los neumáticos.

En un trabajo posterior, Witney et al (1984), preconizó otra ecuación más extensa e incorporó la textura del suelo como parámetro Cr, porqué dá más exactitud en la predicción:

$$CI = [K_M \times e^{(1 \times MC/(1+Cr))} + K\delta \times \frac{\delta}{(1+2 \times Cr)}] \times e^{(\pi/(1+2 \times Cr))}$$

donde Cr: es la razón entre arcilla, limo y arena. Este número es indicativo y de relativa importancia para la cohesión por fricción. Una elevadísima proporción de arcilla dá lugar a un suelo con más cohesión, que suelos con más contenido en humedad. Usando esta ecuación se puede predecir el indice de cono (CI).

Se ha intentado calcular todos los parámetros influyentes en la compactación, para llegar a poder determinar cual sería el incremento de potencia requerido por la maquinaria para efectuar sus labores. Este incremento vendrá dado por el gasto más elevado de combustible (f) medido en L/h (litros por hora):

$$f = Pw \times \mu$$

donde μ: es el combustible gastado (L/kW/h)

Otra consecuencia importante al incrementar la energía requerida es el aumento de CO^2 a la atmósfera incrementando también la contaminación, lo que supone un coste adicional V_{ap}.

Asumiendo que el C contenido en el combustible agrícola Cp, de 85 % de gasoil, con una densidad δ f= 0.836 kg/L y con un factor de conversión Cc, de 12/44, el carbono extra emitido a la atmósfera como consecuencia de la compactación de suelos sería:

$$Vap = K \times f \times \delta f \times Cp/Cc$$

Sugieren una fórmula para determinar este coste adicional del capital, V_{cc}. Relaciona mediante una fórmula, la potencia del tractor P_w con el precio de compra P_r:

$$Pr = 2053.9(\pm 88) \times Pw^{0.5} - 8416.6(\pm 776)$$

Oskoui y Voorhees (1991) construyeron diferentes modelos para evaluar el coste adicional de la erosión, aunque cuantitativamente no son importantes. Una vez analizados todos los parámetros señalados se puede estimar el valor de estas pérdidas. Esta estimación puede ser compleja porque, como hemos observado, intervienen numerosas variables, por lo que se puede finalizar el apartado mencionando algunas recomendaciones:

* Si el tránsito de vehículos por la parcela es pesado (a partir de 10 Mg por eje de carga), ocasiona al suelo y subsuelo una compactación profunda, duradera y respuestas negativas en las cosechas.

* En el caso del estercolado del terreno, los costos ocasionados por vehículos pesados pueden ser tan grandes, como el valor de los nutrientes suministrados (Håkansson et al, 1988).

8) PRECISIÓN DEL MÉTODO DE RADIACIÓN LASER.

Antes de analizar la precisión que se puede conseguir en nivelación es preciso conocer algunas características de la radiación laser. Se puede decir que "es una emisión de intensos rayos de luz monocromática y coherente que se comporta como la luz normal y es por lo tanto afectada por las condiciones atmosféricas" (Santos,1984).

El rayo emitido por un emisor, cuya potencias y alcance son variables según modelo, sufre a lo largo de su recorrido y apartir del punto emisor una dispersión que aumenta el diámetro del haz luminoso, según tabla adjunta:

		Distancias al punto emisor en metros (Santos, 1984)						
		0	20	50	100	200	300	400
Diámetro del haz del rayo	máx.	1	1	2	4	7	10	-
en mm.	min.	10	12	15	20	30	40	50

Tabla 2-1

En nivelación se ha de tener en cuenta porque la mayor parte de los emisores son operativos hasta 300 m.Las condiciones atmosféricas pueden influir notablemente en que las emisiones sean correctas, pero el viento (o turbulencias de aire), pueden aumentar el diámetro de esta emisión; así como la coherencia temporal y espacial del rayo se deteriora (Pachuta,1986).

En todos los trabajos de nivelación, tanto convencionales como los que utilizan radiación laser, se tienen que tomar puntos de nivel en las cuadrículas construidas sobre la parcela. El buen manejo de estas cuadrículas es importante, si se quiere saber la precisión de la nivelación. Por lo que una vez nivelada la parcela se volverán a plantar las estacas, en el mismo punto que habían ocupado anteriormente. El replanteo posterior suele resultar una operación de alto coste económico, si se suman a los globales de la nivelación.

Es recomendable situar en el borde mismo de la parcela las referencias (estacas) y que estas pudieran conservarse después de la nivelación. De esta manera es mucho más fiable el replanteo posterior. Otra de las operaciones recomendables sería la elección de la estación topográfica, que debería situarse fuera de la parcela y relativizar en un punto cualquiera la cota que se quisiera darle.

Para determinar la precisión de la nivelación se usan diferentes índices. El Servicio de Conservación de Suelos (S.C.S) en Wellton-Mohawk, suroeste de Arizona (USA) requiere que el 80% de parcela tiene que estar entre ± 15mm de la media para que la nivelación sea aceptada (Walker et al. 1987). Las cuadrículas utilizadas son de 30 x 30 m; el Centro de Agricultura Tropical de Japón (TARC) está dando como límites permisibles ± 10 cm el 100% de parcela, o bien ± 5 cm, en el 80 % de parcela (cuadrículas de 10 x 10 m) (Sasano, 1988, 1989).

Se supone que la sensibilidad máxima del emisor laser (Laserplane cat.,1987) se puede situar entre ± 1.2 cm, en distancias medias que oscilan entre 150 a 200 m.

Sasano, establece índices de nivelación a diferentes rangos de medición:

$$L\text{-}I(cm) = \frac{\text{nº de cuadrículas (10x10m) con puntos } \pm\text{cm de la media}}{\text{Total nº de puntos de la cuadrícula}}$$

Utiliza los rangos ± 5 cm y ± 2.5 cm, aunque se pueden elegir cualquier otro. Siempre se utiliza en parcelas a un solo nivel (cota 0). El uso de estos índices tienen importancia cuando se compara el índice antes y después de nivelar, para así poder establecer la mejora realizada.

La precisión de la nivelación laser siempre se ha comparado con la precisión en los métodos convencionales. Dedrick (1979), Dedrick et al (1982), Schwab et al (1993), relacionaron estos dos sistemas de nivelación y destacaremos solamente los aspectos morfológicos. En nivelación convencional cuando se ha terminado la nivelación, las curvas de nivel suelen ser concéntricas, y se elevan hacia los extremos de la parcela. En nivelación laser la curva de nivel 0, está mucho más repartida por toda la parcela, desapareciendo el efecto de los extremos mencionado anteriormente.

Reñina (1964), destaca en una de sus conclusiones: que en terrenos nivelados en los que se han efectuado desmontes cuidadosos, según la naturaleza y profundidad del subsuelo, en general, pueden transformarse en suelos laborables y si, ciertamente, sufren una disminución en sus producciones durante un corto número de años, el incremento de cosechas depende únicamente de que se dé a estos suelos desmontados el tratamiento adecuado.

Con la nivelación con laser, los desmontes son generalmente respetuosos con el suelo. Se podría decir que actúa como un sistema de compensación en los movimientos de tierra.

Una de las razones fundamentales por las que se nivelan las parcelas es para aumentar su productividad. Evidentemente un terreno nivelado, constituye una buena cama de siembra, dá lugar a un riego equilibrado, con ahorro de agua y otras muchas ventajas. Pero es indiferente que se haya nivelado por métodos tradicionales o por radiación laser. Sasano 1989, en cultivos de arroz de Malasia, nos muestra en todas las parcelas experimentadas, una buena uniformidad de siembra y porcentajes de germinación excelentes (siempre comparados con resultados anteriores de nivelación tradicional).

Entre las ventajas más importantes de la nivelación laser (Lorduy,1983;Faci,1987):

1)Mejora evidente de la uniformidad y eficiencia de aplicación del riego.

2)Mejora de la nascencia de los cultivos.

3)Ahorro de agua de riego y consiguiente ahorro energético.

4)Mejora de rendimientos.

5)Poder tener niveladas grandes extensiones de terreno con pendientes uniformes.

6)Sistema más económico comparado con los sistemas tradicionales.

9) REDISTRIBUCIÓN DE LOS SUELOS EN DIFERENTES LABORES AGRÍCOLAS.

BIBLIOTECA VIRTUAL

* Influencia de la compactación sobre procesos y propiedades del suelo

El cambio más obvio en las propiedades del suelo ocasionadas por la compactación, es una reducción en el volumen de poros grandes (>30 μm). Tales poros son importantes para el intercambio gaseoso (fenómenos de difusión y flujo de masa) y la conductividad hidráulica (saturada). Ellos también representan el espacio ocupado fácilmente por la mayoría de las raices de las plantas y por muchos organismos del suelo.

De todas maneras en análisis sobre los efectos de la compactación, se comprobó que la difusión de oxígeno en la capa superficial raramente limitó el crecimiento de la planta, y en capas de subsuelo si que se notó cierta reducción (Håkansson et al 1987).

Los agregados de partículas pueden observarse como un cuarto estado de materia que con los niveles diferentes de energía pueden mostrar el comportamiento asociado con los otros tres. El comportamiento del flujo de partículas depende de ciertos factores generales:

1) Las partículas libres de volumen son capaces de cambiar su posición relativa única si hay espacio para moverse o hay potencialidad para liberar volumen de modo que el espacio puede hacerse disponible.

2) La temperatura caracteriza la energía cinética del conjunto de partículas, desde velocidades altas de moléculas a velocidades lentas, partiendo partículas de roca en agregados geomorfológicos.

3) Además existen fuerzas externas diversas, como los diferentes tipos de presión (Culling,1988).

Considerando que la dirección del flujo, a lo largo de una región (pendiente, ect), si v es la velocidad media de las partículas (en dirección del flujo) y h es la longitud de la región, τ la probabilidad antes/después efecto, y utilizando la teoría de Smoluchoswski, es posible estimar la velocidad media o bien la velocidad del flujo de partículas por conteo del número de partículas presentes en una región seleccionada con una secuencia de tiempos o intervalos iguales. Aparte después de conocer las dimensiones de la región, en ancho, y que las velocidades individuales de las partículas sean independientes (Culling, 1985).

La compactación del suelo ha influído sobre la reestructuración de partículas en los

espacios vacios del perfil del suelo. La nivelación de tierras ocasiona un movimiento o una redistribución de estas partículas. Tal redistribución de partículas en el suelo puede ser descrita por una ecuación del tipo de la de difusión. En todas las experiencias se han utilizado diferentes marcadores para analizar estos movimientos.

Govers et al (1994), utiliza como marcadores esferas de plástico con núcleo de metal (numeradas) y con una densidad aparente parecida al suelo en donde se realizan las experiencias. Estas fueron colocadas en secciones transversales dentro de la parcela y situadas perfectamente mediante instrumento topográfico electrónico. Esta parcela tiene una pendiente determinada y tomando una sección de longitud infinitesimal y anchura unidad puede ser descrita por la ecuación de difusión propuesta por Lindstrom et al. (1992):

$$\rho b = \frac{\partial h}{\partial t} = - \frac{\partial Qs}{\partial x}$$

ρb: densidad aparente del suelo.
t: tiempo.
h: altura del punto en la pendiente.
Qs: flujo del suelo en dirección x por unidad de anchura de la parcela.
x: distancia en dirección horizontal.

Esta ecuación puede resolverse si se introduce otra ecuación conveniente para el cálculo del flujo (Qs). Entre los datos de Govers y los de Lindstrom para una gama de pendientes, se consideró que la distancia de desplazamiento es una función lineal del gradiente de la pendiente:

$$d = A + BG$$

d: distancia media de desplazamiento (diferentes sentidos-arriba/abajo)
G: gradiente de la pendiente (tangente). Considerando los signos: + arriba, - abajo
A,B: coeficientes obtenidos por análisis de regresión.

El flujo neto Qs está producido por las diferentes operaciones de cultivo y puede ser escrito como:

$$Qs = - k \frac{\partial h}{\partial x}$$

donde k es una constante = - DρbB

Govers et al (1994),dan diferentes valores de k, para diferentes operaciones de cultivo:

Tipo de apero agrícola	B m (operación de cultivo)	D m	k kg/m (por operación de cultivo)
Acaballonadora de vertedera	-0,62	0,28	234
Cultivador	-0,55	0,15	111

Tabla 2-2

En los dos casos ρb: 1350 kg/m

La utilización de marcadores radioactivos de Cs^{137}, en investigaciones recientes de redistribución y pérdida de suelo es una herramienta valiosa con las siguientes características (Quine et al, 1994):

1) Distribución espacial de los datos en campo.

2) Es representativo en el proceso de erosión.

3) Se pueden utilizar en estudios de 35-40 años de erosión media en una sola operación de campo.

La identificación del efecto cultivo es posible con estos trazadores, que nos dan información sobre el modelo espacial de redistribución del suelo por periodos más largo de tiempo y comparar estos resultados con pronósticos con base a estados constantes pero distribuídos espacialmente. Esto realza la potencialidad del Cs^{137} en técnicas de investigación de erosión del suelo y las considerables ventajas al combinarse con diferentes fuentes de datos. A la larga se podrán crear modelos más sofisticados sobre la redistribución de suelos sobre pendientes y también sobre erosión.

Se han creado modelos matemáticos para aproximar el movimiento del suelo a una dimensión horizontal (modelo unidimensional), en repetición de cultivos y con diferentes aperos agrícolas. Tales modelos describen el desarrollo en el tiempo o el gradiente de concentración de una sustancia por medio de la solución a la ecuación de difusión. (Sibbesen et al. 1985) La magnitud en el movimiento del suelo depende de la intensidad de cultivo, propiedades del suelo y tamaño de la parcela. El suelo debido a diferentes operaciones de cultivo y a las diferentes direcciones a la hora de utilizar los aperos agrícolas se distribuye según una ecuación de difusión con un coeficiente de difusión D (constante).

En estas experiencias se ha utilizado otro tipo de marcador radioactivo P^{32}.La concentración inicial del suelo es la unidad en el plano x=0 y cero en cualquier distancia "x" desde el plano. Después de "t" operaciones de cultivo o "t" años de cultivo a través de un plano, la concentración "c" del suelo marcado en cualquier distancia "x" desde el plano, es dada por la ecuación:

$$c = c(x,t) = \frac{1}{\sqrt{4\pi Dt}} \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right)$$

La probabilidad de encontrar partículas de suelo marcado cumple con una distribución normal de Gauss con media $\mu = 0$ y varianza $\sigma^2 = 2Dt$. Después de seis años de cultivo solo el 46% - 49 % de P32 permaneció en las parcelas experimentales (lotes de 3 x 10 m a 6 cm de profundidad).

La estimación del movimiento de una sustancia en dos direcciones a través de la parcela con el tiempo, puede ser aproximado por la ecuación (Sibbesen et al. 1985):

$$c = c(x,t) = \frac{1}{2} co \left(er f \frac{1/2\ b+x+z}{2\sqrt{Dt}} + er f \frac{1/2\ b-x-z}{2\sqrt{Dt}}\right)$$

c: concentración de sustancia en "x" (distancia desde la linea central de la parcela).

t: el número de operaciones de cultivo o el número de cultivos que se han efectuado en un año.

co: es la concentración inicial de la sustancia.

b: la anchura de la parcela.

z: número de desplazamientos realizados en un año.

D: constante de difusión, que se expresa en m^2/año, cuando x, b, y z, se dan en metros y "t" en años.

Para una posterior simplificación de términos, z es cero porque el número de desplazamientos no aumentan con el tiempo y juegan un papel relativo. Se considera que el movimiento de las labores agrícolas en dimensión horizontal es tomado siempre hacia adelante.

El movimiento de partículas sujetas a fuerzas fluctuantes (Culling, 1983) y bajo la influencia de fuerzas externas directas en campo se puede expresar por la ecuación de Smoluchowki's (Chandrasekhar 1943 p.41)

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \text{div}\,(D \text{ grad } W - KW)$$

K: vector que representa una fuerza externa.

w: concentración de sustancia.

D: coeficiente de difusión.

Para el buen establecimiento de las partículas en el plano, las condiciones de equilibrio en pendiente son asumidas en "y", "z" direcciones, y se consideran unidimensionales, que son homogéneas, isotrópicas y situadas en capas paralelas. Resolviendo:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \text{div}\,(D \text{ grad } W - KW) \qquad /1$$

$$\frac{\partial W}{\partial t} = D\left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial z^2}\right) - c\left(\frac{\partial W}{\partial x} + \frac{\partial W}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z}\right)$$

Considerando solo en dirección x, y en capas paralelas:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = D\left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2}\right) - c\left(\frac{\partial W}{\partial x}\right) \qquad /2$$

D: coeficiente de difusión.

c: coeficiente de deriva.

Si la partícula está inicialmente situada en x = xo

$$W \rightarrow \partial\,(x - xo) \text{ con } t \rightarrow 0 \qquad /3$$

y con un obstáculo en el origen:

$$D\left(\frac{\partial W}{\partial x}\right) - cW = 0 \qquad \text{con } t > 0 \text{ y } x = 0 \qquad /4$$

Entonces la solución /2 satisface /3 y /4 (Carslaw and Jaeger, 1959, p. 358):

$$W = \frac{1}{\sqrt{4pDt}} \exp^{[-c/2D(x - xo) - c2/4D - t]} e^{-(x - xo)2/4Dt} + e^{-(x - xo)2/4Dt} + \frac{c}{2D} e^{-cx/D} \text{er fc} \left[\frac{x - xo - ct}{\sqrt{4\pi Dt}} \right]$$

Si una cantidad finita de materia se introduce en el suelo, en un punto específico sobre la inclinación uniforme, las partículas están sujetas a una dirección y a una dispersión debido a los movimientos de difusión (Culling, 1981). La concentración W es:

$$W = \frac{1}{\sqrt{4pDt}} \exp^{[-c/2D(x - xo) - c2/4D - t]}$$

Todos los apartados anteriormente manifiestan un profundo análisis sobre lo que sucede cuando un apero agrícola realiza una labor determinada. Los efectos de redistribución y erosión son procesos semejantes a los fenómenos de difusión mencionados anteriormente.

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES

3) Material y métodos

3.1) Material

3.1.1) Descripción de las parcelas

Las parcelas objeto de la experimentación se encuentran en el término municipal de Vilanova de Bellpuig (provincia LLeida-comarca del Urgell), ver Figura 3-1 Hoja 389 (TARREGA) del MTN (escala 1/50 000). A escala 1/5 000 (Ortofotomapa ICC), se ha realizado la búsqueda y la situación de las parcelas mediante coordenadas UTM:

Zona: 31T
Cuadrícula 100 km: CG

PARCELA	HOJAS	DENOMINACION	Superficie
1	389-6-3	Vilanova de Bellpuig	(ha)
Puntos de contorno	X	Y	
1	330 707	4 608 450	
3	330 681	4 608 469	
28	330 821	4 608 574	
31	330 799	4 608 600	0.6373
PARCELA	HOJAS	DENOMINACION	
2	389-5-4	Torre Clareta	
	389-5-3	Torre del Calvis	
Puntos de contorno	X	Y	
1	328 556	4 608 037	
4	328 510	4 608 052	
48	328 659	4 608 216	
51	328 622	4 608 256	1.1747
PARCELA	HOJAS	DENOMINACION	
3	389-5-4	Torre Clareta	
	389-5-3	Torre del Calvis	
Puntos de contorno	X	Y	
1	328 508	4 608 037	
3	328 486	4 608 045	
34	328 570	4 608 243	
37	328 606	4 608 226	0.7258

Tabla 3.1

La situación de las parcelas se pueden encontrar en el plano de situación (Plano comarcal de Catalunya: Pla d'Urgell) escala 1/50 000, del ICC mostrado en la página anterior.

Referente a los tipos de suelo, los podemos clasificar teniendo en cuenta las unidades cartográficas establecidas en la zona (Boixadera i col.,1989)

PARCELA 1: Se encuentra ubicada en la unidad cartográfica: **Ca Bellvis franca**

Ca Bellvis franca: Ca (es la abreviatura de la unidad cartográfica)

Estos suelos son moderadamente profundos (41-80cm), con drenajes muy rápidos y textura mediana (franco-arenosa muy fina, franca, franco-limosa, limosa), con frecuentes gravas calizas. El horizonte superficial es de textura franca y un espesor de 35cm. El horizonte subyacente es de textura franca, franco limosa o franco-arenosa, de color terroso oscuro con matices rojizos a color terroso y llega hasta 70cm. Por debajo se encuentra una capa de gravas cimentadas de unos 20cm de espesor. Típicamente no salinas. Las inclusiones están constituidas por suelos de la serie Seana (más superficiales).

La conductividad hidráulica es moderadamente rápida, la capacidad de retención de agua es baja. La profundidad arable es mediana. Los suelos de la unidad se utilizan para cultivos extensivos de riego y frutales. Son suelos moderadamente aptos para riego a manta (inundación), los que mediante un manejo conveniente, se pueden obtener eficiencias aceptables en el uso del agua y de los abonos.

Aptos para el cultivo de alfalfa, maiz y muy aptos para frutales, por lo que no es previsible tener problemas de encharcamiento.

Los abonos utilizados son acidificantes o neutros.

PARCELA 2/3: Se ha definido en ellas dos unidades cartográficas. La mayor parte de ellas: **Ca Bellvis franca**, y el contorno en los puntos P2 (48-51), P3 (34-37): **Xa Seana franca**.

Xa Seana franca

Estos suelos son superficiales de poca profundidad, con drenaje ligeramente rápido, y textura mediana con frecuentes gravas de cal. Ocupan posiciones con pendientes muy suaves (0-2%). Son suelos no salinos.

Típicamente el horizonte superficial es de textura franca y el espesor de 30-45cm. El horizonte subyacente está constituido por una capa de gravas cimentadas, formando un horizonte petrocálcico se unos 15-20cm de espesor, fracturado en muchas partes, por debajo del cual hay una capa de gravas calizas. Suelos no salinos.

Las inclusiones dentro de la unidad pertenecen a la serie Bellvis (más profundos). La conductividad hidráulica es rápida. La capacidad de retención de agua disponible (CRAD) es muy baja.

La nivelación de los suelos de la unidad exige preservar los horizontes superficiales. Por otro lado, mezclar el horizonte petrocálcico exige una elevada potencia; después se han de retirar los fragmentos resultantes y en todo caso nunca se evita un incremento muy alto en carbonato cálcico de la capa arable.

Se ha comparado algunas propiedades de las unidades cartográficas, con las parcelas experimentadas:

Símbolo y Unidad Cartográfica	Profundidad (cm)	M.O %	Arena %	Limo %	Arcilla %	Carbonato Cálcico %
Ca						
Bellvis franca	0-30	1.7-3.4	30-64	20-42	16-28	16-35
P1/A/5	0-30	3	3	59.2	37.8	40
P1/A/17	0-30	2.9	3.7	56.0	40.3	40
P1/D/5	0-30	2.9	2.4	61.3	36.3	40
P1/D/17	0-30	3	4.5	55.0	39.5	42
P2/A	0-30	1.7	55.2	29.3	15.5	25
P2/D	0-30	1.6	59.7	23.2	17.1	25
P3/A	0-30	2.4	45.2	33.7	21.1	33
P3/D	0-30	2.4	46.3	29.5	24.2	35
Xa						
Seana franca	0-30	2-4	34-68	20-40	12-26	16-35

Tabla 3.2

Se observa que en términos generales cumple con las unidades cartográficas de la zona. Solo en algunos aspectos, como en el contenido en arena en la parcela 1, es mucho más baja que la preconizada en las unidades cartográficas. Lo contrario ha ocurrido con el contenido en arcilla. En esta parcela se tomaron dos muestras (punto5/punto17) para comprobar si se encuentra diferencias notables dentro de la misma.

Los análisis han sido realizados en el Laboratori d'Anàlisi i Fertilitat de Sòls de Sidamon (Lleida), y siguiendo la normativa del Grupo de trabajo de Suelos y Aguas de Riego (1994), y de la Comisión de Métodos Oficiales de suelos y Aguas (1975).

La unidad taxonómica utilizada es la **serie** que es el nivel más rico en información y a partir del cual se pueden hacer el mayor número de interpretaciones de la formación de los suelos. Los suelos dentro de una serie se diferencian en aspectos que afectan al manejo, como son: la textura superficial, la pendiente, la salinidad, la pedregosidad o el material subyacente; aspectos recogidos a nivel de fase, que figura en el nombre de la unidad cartográfica.

Serie Bellvis

Los suelos de la serie Bellvis son moderadamente profundos, de drenaje rápido, textura mediana y moderadamente fina con frecuentes gravas calizas. Se han desarrollado en los materiales detríticos con gravas de caliza aportadas por los conos de deyección de los ríos Corb y el Ondara. Ocupan planícies y plataformas en las partes más distantes, con pendientes suaves (<2%). Estos suelos presentan una acumulación de carbonato cálcico en los 70cm. Esta acumulación está cimentada en la parte superior.

La secuencia típica de horizontes es Ap-Bw-Bkm. Estos suelos se clasifican como Xerochrept petrocálcico, franco gruesa, mezclada, mésica. Cálcico pétrico (FAO,1988).

Horizonte Ap:

Tiene un espesor de 22-35cm. Su color (en húmedo) es de color terroso oscuro con matices rojizos (7.5 YR 4/3-4 a 10 YR 4-5/3-6), y la textura es franca con frecuentes

elementos gruesos. El pH es moderadamente básico (7.9-8.1), el contenido de carbonato cálcico es de 17 al 27 % y el de la materia orgánica es 1.7-3.4 %. En el anejo correspondiente se tratan estadísticamente (método de las componentes principales), los análisis de suelo de las diferentes parcelas.

3.1.2) Material topográfico

La toma de datos de las parcelas elegidas fué realizada con una Estación Total TOPCON GTS-303® (TOPCON cat.,1990).

Características:

Anteojo Topográfico:

Longitud : 150mm

Lente del objetivo : 50mm

Aumentos : x 30

Imagen: Directa

Campo de visión (a 1000m) : 1º30'

Distancia mínima de enfoque : 1.3m

Medición de distancia: Mediante emisión de luz infrarroja desde el emisor al prisma reflector.

Margen de medida:

Condiciones Atmosféricas		
	Condición 1	Condición 2
1 prisma	1200m	1400m
3 prismas	2000m	2200m
9 prismas	2600m	2800m

Tabla 3.3

Condición 1: Niebla ligera, con visibilidad de unos 20km, sol moderado y ligera reverberación.

Condición 2: Sin niebla, con visibilidad de unos 40km, cielo despejado y sin reverberación.

Precisión de las distancias (2000m): 1cm+ 5mmkm

La Estación Total (TOPCON GTS-303®) tiene en cuenta la corrección atmosférica y la curvatura terrestre.

Medición de ángulos: Presenta lectura digitalizada de las mediciones. Puede utilizar diferentes tipos de graduación (centesimal: 400^g).

El limbo horizontal preparado para el uso de los métodos de repetición y de reiteración. El limbo vertical también se puede elegir su origen (cenital).

Precisión angular: $\pm 20^{cc}$ (± 10")

Sensibilidad del nivel: 60"

3.1.3) Material para los sondeos

Los sondeos de los puntos de las parcelas fueron realizados por el penetrómetro STIKOBA® (STIKOBA cat.,1988).

Características:

El penetrómetro STIKOBA® con el que se ha realizado los sondeos, dispone de un registro gráfico, a modo de tarjeta, donde se puede reunir toda la información.

El equipo en cuestión consta de los siguientes elementos:

-Penetrómetro con muelle de compresión para sondeos inferiores a 500N/cm^2 (5MPa).

-Vástago de sondeo, de 10 mm de diámetro, y una altura de 80cm (para un cono de 1 cm^2).

-Vástago de sondeo, de 8 mm de diámetro, y una altura de 80cm (para conos de 2 cm^2 a 5cm^2).

-Tarjetas normalizadas para este instrumento, ya que en un modelo, se puede registrar, todas las variaciones o cambios que podamos realizar en el penetrómetro. En una misma tarjeta se realizaba el registro de cuatro sondeos.

Figura 3-2

El penetrómetro nos presenta una gráfica en la que se refleja la resistencia de cono (I.C) con relación a la profundidad. El rango de medida es 0.8m, basado principalmente en la compresión de un muelle calibrado, al mismo tiempo que un rodillo mueve proporcionalmente una tarjeta registradora.

El penetrómetro está compuesto de los siguientes elementos:

1) Asa de mano: con la que transmitimos la presión a un muelle indeformable.

2) Muelle de compresión: para sondeos inferiores a 500N/cm^2 (5MPa).

Este muelle tiene en su parte central una varilla de acero que empieza con un émbolo, continua con un dispositivo que registra en una tarjeta los esfuerzos producidos.

3) Tarjeta: Estos esfuerzos producidos están calibrados de manera que la tarjeta se desplaza proporcionalmente a la profundidad a la que vamos descendiendo. El movimiento de la tarjeta se produce gracias a una varilla helicoidal que da el sentido rotatorio al rodillo.

4) Vástago central: Que desciende en el suelo, tiene de 8 / 10mm de diámetro y acaba con un cono estandarizado de 1cm^2, 2cm^2 ó 5cm^2.

La selección del tipo de cono y vástago se hará teniendo en cuenta el tipo de suelo a sondear. En nuestro caso se ha elegido el vástago central de 10mm y el cono de 1cm^2, y un ángulo de cono 60º.

Los gráficos de las curvas se pueden clasificar según la forma y reagruparse por grupos (Billot,1989):

a)Curvas planas y verticales: Resistencia homogénea en toda la capa arable.

b)Curva presentando un pico y un aplanamiento con la profundidad: Intensidad decreciente en toda la capa arable.

c)Curva presentando una neta atenuación de la resistencia a la penetración en la parte superior: Si es constante en todas las curvas es posible exista una zona húmeda en profundidad situada justo debajo de una capa impermeable.

d)Curva con ondulación próxima en la superficie. Este perfil acusa una discontinuidad neta provocada por un trabajo en la capa superficial. Suelos con capa superficial perfectamente estructurada.

Si el penetrómetro utiliza muelle de compresión (como en nuestro caso), a medida que se introduce en el suelo, este muelle se comprime (muchas veces), hasta un valor máximo y la descompresión puede ser brusca. Entonces el valor máximo establecido en el perfil, debe ser tomado como constante a profundidades mayores (Cassan,1982).

Figura 3-3

3.1.4) Material para la nivelación laser

* Tractor
* Elementos de nivelación

* Trailla

***Tractor**

El tractor utilizado para la nivelación es un JOHN DEERE® modelo 3650 S4, que ofrece como ventajas el de efectuar los más diversos trabajos agrícolas, de la forma más económica sin aumentar la compactación del terreno (JOHN DEERE cat.,1988).

Las características técnicas remarcables:

MOTOR		
Potencia al régimen nominal	CV/kW	126/93
Potencia homologada	CV	120
Régimen nominal	r/min	2400
Par máximo	Nm/kpm	429/43.8
Régimen al par máximo	r/min	1500
Número de cilindros/Alimentación	6/Turbo alimentado	
Cilindrada	cm^3	5883
Refrigeración		Agua forzada
Consumo específico de combustible	g/CVh	192

DOBLE TRACCION	
Tipo de eje	Centrado, < avance de 12º, < dirección 50º
Bloqueo del diferencial	Autoblocante
Oscilación del eje	± 11º

COMBINACIONES DE NEUMÁTICOS CON DOBLE TRACCION	
Delanteros	16.9-24
Traseros	118.4-38

DIRECCION	
Tipo	Hidrostática
Angulo de giro	50º

FRENOS		
Traseros	Accionamiento hidráulico, monodisco en baño de aceite, autoajustables.	
Delantero	Hidráulico	

PESOS			
Doble tracción	eje delantero	kg	1710
	eje trasero	kg	3275
	total	kg	4985
	con neumáticos		18.4-38

LIMITES DE CARGA SOBRE EJE Y PESO MÁXIMO AUTORIZADO		
Doble tracción eje delantero	kg	3200
Trasero	kg	6270
Total	kg	8300

CARGAS ESTÁTICAS MÁXIMAS		
Sobre la barra de tiro, posición normal	kg	1140
posición retraida	kg	1350

ANCHOS DE VIA DOBLE TRACCIÓN		
EJE DELANTERO: mín - max.		
Neumáticos:	16.9-24	mm
Disco interior	mm	1607-1715
Disco exterior	mm	1811-2115
EJE TRASERO: min - max.		
Neumáticos: 18.4-38	mm	1600-2000

MEDIDAS		
Anchura total	mm	2267
neumáticos		18.4-38
ancho de vía	mm	1800
Longitud total	mm	4790

Tabla 3-4.

*__Elementos de nivelación__

Descripción de las partes de que consta el equipo LASERPLANE®:

Bancada o plataforma de sustentación: provistas de patas móviles o articuladas con sus sistemas de niveles de aire y esféricos. Su colocación varía del tamaño de la parcela. Si es muy grande se colocará en la parte central y si es pequeña en un lateral.

Emisor:

Carcasa emisora: Dispondrá de un sistema de niveles de aire que permiten colocar vertical el eje.

Cabeza del instrumento: Puede tener acoplado un pequeño motor eléctrico que proporcionará un movimiento rotatorio a la misma con velocidad regulable, permitiendo describir un plano horizontal o inclinado (0-10%). Puede alcanzar un radio de 300m.

Fuente de alimentación: Tiene una bateria de 12V, con un dispositivo de transformación.

Figura 3-4

Centro Receptor: Está situado encima de la trailla o niveladora.

Mástil hidráulico: Detectará la señal del emisor hasta que la encuentre (subiendo o bajando), y nos permitirá conocer la cota del punto en cuestión.

Sensores de recepción: Células fotovoltáicas de silice muy sensibles a la luz laser. Su disposición es como la que figura en el esquema:

Figura 3-5

Elementos accesorios

Caja de control: Situada en la cabina del tractor que permite conocer al operario la cota exacta sobre la que está trabajando.

Unidad de interfase: Necesaria para transmitir las señales eléctricas al sistema hidráulico del tractor.

*__Trailla__

La trailla niveladora acondicionada para la nivelación laser (LASER BLADE

cat.1988), tiene como característica fundamental de que utiliza ruedas en tamdem y su plegado es hidráulico.

Modelo	Ancho (m)		Ruedas	Descripción	Capacidad
	Transporte	Trabajo			nominal
LBHP-40/2	2.5	4	4	con ruedas laterales	2 m^3

Tabla 3-5

Es el centro receptor nombrado anteriormente, y que ejecuta el movimiento de tierras.

3.2) Métodos

3.2.1) Metodología topográfica

El total de puntos tomados de cada parcela fueron:

	Antes Nivelación	Después Nivelación
PARCELA 1:	30	30
PARCELA 2:	51	51
PARCELA 3:	37	37

Tabla 3-6

Se marcaron las cuadrículas (20 x 20m) con estacas de madera, alineadas al lado de la parcela que disponía de mayor geometría para tal fin. En cuanto al tamaño de las cuadrículas se dispuso de diferentes criterios: U.S.Department of Agriculture (Soil Conservation Service.Land Leveling), preconiza cuadrículas de 30 x 30m, en nivelación tradicional. TARC (Tropical Agriculture Research Center Japan), utiliza cuadrículas de 10 x 10m. Si se examina el tamaño y forma de las parcelas, puede condicionar la longitud de estas cuadrículas. Observando la forma rectangular y las dimensiones donde se realizaron las experiencias se optó por la cuadrícula 20 x 20m. Esta cuadrícula se consideró como suficiente porque cubrió perfectamente la zona a nivelar.

Para poder situar los puntos de una forma precisa, se construyó un dispositivo que consta de un soporte de nivelación (de forma triangular) soldado a una arandela de dimensiones superiores a la estaca. La utilización se puede observar en el esquema adjunto, y nos sirvió, para que los sondeos realizados antes de la nivelación se pudieran colocar después de la nivelación en los mismos lugares (o lo más cerca de donde estuvieran).

Una vez señalada y numerada, se procedió al levantamiento topográfico (Planimetría-Altimetria) y a la realización de los sondeos en cada punto.

El método planimétrico utilizado fué la radiación. La estación total no se situó en el centro de la parcela, porque el replanteo después de la nivelación, hubiera presentado dificultades (Santos,1989).

Figura 3-6

En el método de radiación, como todos los métodos topográficos, se producen una serie de errores, que evaluaremos a continuación:

Error Planimétrico.- En la radiación de un punto se pueden tener en cuenta dos clases de error: los errores accidentales propios del instrumento topográfico (error accidental angular azimutal de la estación total: ε_{Az}), y el de posicionamiento al determinar el ángulo y la distancia (error al evaluar la distancia: ΔD). Estas dos clases de errores darán lugar al error

transversal (ε_t) y el error longitudinal (ε_l). La suma de estos dos errores se llamará: Error Planimétrico. (Ferrer y Piña,1991), (Ojeda,1984), (Domínguez,1989).

Error transversal (ε_t): Conocida la distancia reducida (D) máxima que se ha podido leer en cada parcela:

$$\varepsilon_t = D.\ \varepsilon_{Az};\ \varepsilon_{Az} = \sqrt{(\varepsilon v)^2 + (\varepsilon d)^2 + (\varepsilon p)^2\ (\varepsilon l)^2}$$

	D	ε_{AZ}
PARCELA 1	175	75
PARCELA 2	225	60
PARCELA 3	220	60

Tabla 3-7

$$\text{Error de verticalidad } (\varepsilon_v) = \frac{1}{12}.\ s$$

s: sensibilidad nivel de aire(^{cc})

$$\text{Error de dirección}(\varepsilon_d) = \frac{(\varepsilon\text{estación} + \varepsilon\text{prisma})}{D}.\ 636\ 620^{cc}$$

$$\text{Error de puntería}(\varepsilon_p) = \frac{30}{A} \times \left[1 + \frac{4A}{100}\right]$$

A: aumento del anteojo

$$\text{Error de lectura}(\varepsilon_l) = \frac{2}{3}.\ a$$

a: apreciación mínima de la lectura angular

Sustituyendo los datos anteriores:

$$\text{Error de verticalidad}(\varepsilon v) = \frac{1}{12} \times 83.33^{cc} = 6.9^{cc} \approx 7^{cc}$$

$30'' = 83.33^{cc}$

Error de dirección(ε_d)

$$\text{PARCELA 1:}(\varepsilon_d) = \frac{0.02}{175} \times 636\ 620^{cc} = 72.76^{cc} \approx 73^{cc}$$

$$\text{PARCELA 2:}(\varepsilon_d) = \frac{0.02}{225} \times 636\ 620^{cc} = 56.59^{cc} \approx 57^{cc}$$

$$\text{PARCELA 3:}(\varepsilon_d) = \frac{0.02}{220} \times 636\ 620^{cc} = 57.87^{cc} \approx 58^{cc}$$

$$\text{Error de punteria}(\varepsilon_p) = \frac{30}{30} \times \left[1 + \frac{4x30}{100}\right] = = 2.2^{cc}$$

$$\text{Error de lectura}(\varepsilon_l) = \frac{2}{3} \times 20^{cc} = 14^{cc}$$

$\varepsilon_{Az} = \sqrt{(\varepsilon v)^2 + (\varepsilon d)^2 + (\varepsilon p)^2 + (\varepsilon l)^2}$

PARCELA 1

$\varepsilon_{Az} = \sqrt{(7)^2 + (73)^2 + (2.2)^2 + (14)^2} = 74.70^{cc} \approx 75^{cc}$

PARCELA 2

$\varepsilon_{Az} = \sqrt{(7)^2 + (57)^2 + (2.2)^2 + (14)^2} = 59.20^{cc} \approx 60^{cc}$

PARCELA 3

$\varepsilon_{Az} = \sqrt{(7)^2 + (58)^2 + (2.2)^2 + (14)^2} = 60.20^{cc} \approx 60^{cc}$

El error transversal (ε_t) para cada parcela, suponiendo que la orientación se toma (a un punto de referencia) situado a una distancia media de 250m.

Orientación:(ε_d)= $\frac{0.02}{250}$ x 636 620^{cc} = 50.93^{cc} ≈ 51^{cc}

$\varepsilon_{Az} = \sqrt{(7)^2 + (51)^2 + (2.2)^2 + (14)^2} = 53.39^{cc} \approx 54^{cc}$

PARCELA 1: Para radiaciones a 175m:

$\varepsilon_t = \sqrt{(54^2+75^2)/636620}$ x 175 = 0.025m = 2.50cm

PARCELA 2: Para radiaciones a 225m:

$\varepsilon_t = \sqrt{(54^2+60^2)/636620}$ x 225 = 0.029m = 2.90cm

PARCELA 3: Para radiaciones a 220m:

$\varepsilon_t = \sqrt{(54^2+60^2)/636620}$ x 220 = 0.028m = 2.80cm

Error longitudinal (ε_l): En los distanciómetros electrónicos, se puede establecer como cota superior del error longitudinal para la radiación:

[3 + 0.5 x N] cm

siendo N el valor de la distancia de radiación en kilómetros.

Para cada parcela:

PARCELA 1: (radios máximos 175 m): [3+0.5 x $\frac{175}{1000}$] = 3.09cm

PARCELA 2: (radios máximos 225 m): [3+0.5 x $\frac{225}{1000}$] = 3.11cm

PARCELA 3: (radios máximos 220 m): [3+0.5 x $\frac{220}{1100}$] = 3.11cm

El Error Total (planimétrico) (ε_T) en la radiación:

$$\varepsilon_T = \sqrt{(\varepsilon t)^2 + (\varepsilon l)^2}$$

Para cada parcela:

PARCELA 1: $\varepsilon_T = \sqrt{(2.50)^2 + (3.09)^2} = 3.97$cm

PARCELA 2: $\varepsilon_T = \sqrt{(2.90)^2 + (3.11)^2} = 4.25$cm

PARCELA 3: $\varepsilon_T = \sqrt{(7.84)^2 + (9.67)^2} = 4.18$cm

Error Altimétrico.- Se han de considerar los mismos errores accidentales a excepción del error de dirección.

$\varepsilon_{Vertical} = \sqrt{(\varepsilon v)^2 + (\varepsilon p)^2 + (\varepsilon L)^2}$

$\varepsilon_{Vertical} = \sqrt{(7)^2 + (2.2)^2 + (14)^2} = 15.81^{cc}$

Las incertidumbres altimétricas se consiguen mediante las expresiones:

1era. Incertidumbre Altimétrica: $\varepsilon_t^I = \Delta D.\ \text{Cotg}\ \alpha$

2 da. Incertidumbre Altimétrica: $\varepsilon_t^{II} = D.\ \text{cotg}\ (\alpha + \varepsilon_{Vertical}) - D.\ \text{cotg}\ \alpha$

$\varepsilon_t^I = \Delta D.\ \text{cotg}\ (\alpha \leq 101^g)$ Si $D \leq 1000$m se establece una cota superior de error de 3.5cm.

$$\varepsilon_t^I = 3.5 \times \text{cotg}\ 101^g = 0.055\text{cm}$$

La segunda incertidumbre altimétrica depende de la distancia media de cada parcela:
PARCELA 1: (para 175 m); $\varepsilon_t^{II} = 175 \times [\ \text{cotg}\ (101^g + 0.001581^g) - D.\ \text{cotg}\ 101^g] = 0.004375$ m=0.44cm
PARCELA 2: (para 225 m); $\varepsilon_t^{II} = 225 \times [\ \text{cotg}\ (101^g + 0.001581^g) - D.\ \text{cotg}\ 101^g] = 0.005625$ m=0.56cm
PARCELA 3: (para 220 m); $\varepsilon_t^{II} = 220 \times [\ \text{cotg}\ (101^g + 0.001581^g) - D.\ \text{cotg}\ 101^g] = 0.005500$ m=0.55cm

Para poder calcular el error altimétrico total en la radiación, se deben tener en cuenta, el error cometido en la medición de la altura del instrumento y el error cometido en la altura del prisma. En el primero no debe ser superior a 1cm, y en el segundo a 1.5 cm.

PARCELA 1: $\varepsilon_T = \sqrt{(0.06)^2 + (0.45)^2 + (1)^2 + (1.5)^2} = 1.86$cm

PARCELA 2: $\varepsilon_T = \sqrt{(0.06)^2 + (0.56)^2 + (1)^2 + (1.5)^2} = 1.89$cm

PARCELA 3: $\varepsilon_T = \sqrt{(0.06)^2 + (0.55)^2 + (1)^2 + (1.5)^2} = 1.89$cm

3.2.2) Metodologia para los sondeos

Después de medir el punto, y antes de guardar el dispositivo (arandela-soporte de nivelación), se realizarán los cuatro sondeos en cada punto. Se denominan: nºSCOMP (nº: número / S:sondeo / COMP: compactación). La disposición en el terreno es rectangular, según se muestra en el esquema. Tal regularización de los ensayos facilita el posterior replanteo (después de nivelación) y la ejecución de los sondeos en los mismos puntos.

Para la iniciación del uso del penetrómetro se encontró una parcela 0 (de la que no se tienen resultados escritos), que sirvió de aprendizaje y calibraje del instrumento. Fué necesario utilizar un tipo de papel (en la tarjeta de registro) de mayor densidad y más satinado que el original, con el fin de facilitar la impresión del lápiz sobre éste.

Las cuadrículas 20 x 20m donde se han realizado los sondeos, están dispuestas de manera que se puedan conseguir perfiles transversales son las isolíneas de fuerza, que dan una aproximación de lo que sucede en el suelo. Cassel y Nelson (1979), ya utilizan los perfiles transversales (profundidad/fuerza), para caracterizar a diferentes suelos, tratados con diferentes aperos agrícolas, e intentando calcular el índice de cono característico. Hartge et al

(1985) también caracterizaron la compactación de un suelo de la misma forma, estaban situados paralelos a 3 metros y tenian 10 metros de largo. En nuestro caso se han utilizado perfiles longitudinales y transversales de todas las parcelas y en todos los puntos. La coloración de estos perfiles permiten darnos una visión diferente. (Anejo nº 2: Perfiles de los suelos).

Para la unificación de los perfiles transversales era preciso que los penetrómetros utilizados estuvieran normalizados. Si bien antes de aparecer la norma hubo intentos de conseguir unas líneas de actuación similares (Fritton,1990):

*Diámetro y longitud del penetrómetro (mm).

*Angulo de cono.

*Fuerza total (necesaria para empujar al penetrómetro- Nw)

*Profundidad de acción (mm).

*Velocidad de accionamiento (mm/sg).

Figura 3-7

Con objeto de hacer comparables las medidas realizadas por diferentes investigadores, la Sociedad Americana de Ingenieros Agrónomos (A.S.A.E.) ha tipificado el ensayo de resistencia a la penetración en la Norma S313.2 (A.S.A.E. Standard,1991).

La norma se ha hecho con los siguientes objetivos:

* Ofrecer un método común para expresar las condicones mecánicas del suelo así como facilitar la interpretación de los datos obtenidos por los distintos investigadores.

* Hacer más sencilla la labor de aquellos investigadores que trabajan con suelos y en condiciones diferentes.

* Proveer un sistema de caracterización de las propiedades del suelo que haga posible la obtención de relaciones de predicción o de cambio.

* El penetrómetro propuesto por A.S.A.E. consta de un cono de 30º y de un vástago conductor graduado.

Se recomiendan dos tamaños para la base del cono: 323mm^2 y 130mm^2. El tamaño del vástago será de 15.88mm en el primer caso y de 9.55mm en el segundo. Esta diferenciación en dos tamaños permite el uso de uno o del otro en suelos blandos o duros.

-Tanto la punta como el vástago serán de acero, recomendándose el AISI416, no siendo la rugosidad de las superficies mayor de 1.6 μm.

-Los conos del penetrómetro deberán reponerse cuando el desgaste en la base del cono exceda el 3% del valor del diámetro inicial, lo que afectaría a la medida del índice de cono en un 5 %.

-El cono debe ser introducido en el suelo a una velocidad próxima a los 30mm/s. Las lecturas comenzarán en el momento en que la base del cono se enrase con la superficie del suelo. Las siguientes se realizarán de forma contínua o a la frecuencia más elevada posible.

-Deberán tomarse de cinco a siete lecturas para establecer el indice de cono.

-Los penetrómetros podrán tener diferentes formas, así como distintos sitemas de registro de datos y de accionamiento, pero el cono, tamaño del vástago y la velocidad de operación se harán conforme a esta norma.

3.3.3) Metodología para la nivelación laser

Funcionamiento del conjunto: Las máquinas niveladoras, trabajarán en su entorno sin sobrepasar los 300 metros (que es su radio de acción), suponiendo una nivelación simultánea de 30 ha. El centro emisor gira a cinco revoluciones por segundo, lanza finos rayos de 300m. de alcance formando un plano perfectamente horizontal. Estas señales eléctricas se

transforman, por medio de una caja de control y de la unidad de interfase, en órdenes automáticas al sistema hidráulico que sube y baja la cuchilla de la máquina niveladora. Esta operación de nivelación consta de diferentes fases:

1) Ajuste a nivel 0, en caja de control, sensor receptor y punto principal que designemos en la parcela (en nuestro caso y mayoritariamente la toma de agua).

Figura 3-8

Durante este reconocimiento la caja de control irá registrando (a intervalos de tiempo o distancia, dependiendo de la caja de control) la cota de cada punto.

2) Reconocimiento del terreno: El conjunto tractor trailla, tras su puesta a 0, inicia un recorrido de la parcela, siguiendo posiciones en zig-zag o bien si el terreno es muy accidentado en curvas de nivel. Durante este reconocimiento la caja de control irá registrando (a intérvalos de tiempo o distancia, dependiendo de la caja de control), la cota de cada punto.

Al final del reconocimiento y con los datos registrados se podrá calcular la cota media de elevación o depresión de la parcela. Hasta aquí la unidad de interfase no ha funcionado.

3) Esta cota media es la que el conductor coloca en memoria en su caja de control.

4) El conductor (una vez ha accionado la unidad de interfase) solo tiene que mirar la caja de control para ver si está trabajando a una cota superior o inferior, hasta conseguir la indicada anteriormente.

5) Si en la parcela se quiere conseguir una determinada pendiente, se graduará el rayo a la inclinación adecuada que se fijará en el emisor.

6) Cuando el rayo Laser (señal eléctrica) intercepta al sensor en una de sus tres posiciones, está señal se transforma en señal mecánica para activar al sistema hidráulico del tractor.

La precisión de un equipo de nivelación Laser depende del tipo de maquinaria que se utilice para el movimiento de tierras y de la calidad de los sistemas de interfase e hidráulicos que se adquieran. No obstante, para un determinado tipo de maquinaria (Santos,1984), se podría establecer:

* Rellenos y refinos con traillas, y niveladoras hasta ± 1 cm de error.
* Rellenos y refinos con mototraillas (superior 8 m^3) hasta ±5 cm de error.
* Excavación con Bulldozer hasta ± 3 cm de error.

3.3) Tratamiento de datos

El tratamiento de datos de los sondeos se ha realizado por métodos geoestadísticos utilizando el programa GEO-EAS (Geostatical Environmental Assesment Software) (England and Sparks,1988). En los anejos nº 3/4/6 se encuentran todo lo referente a la geoestadística y que ha sido obtenido mediante este programa.

Se realizaron cuatro sondeos por punto (1/2/3/4 SCOMP), en cada parcela (P1/P2/P3), antes o después de la nivelación (A/D) y a una profundidad determinada (cada 5 cm). Se ha elegido un ejemplo (P1A10CM) para ir explicando cada uno de los apartados de esta aplicación:

P1/A/COMPACTACION 10CM					
X (METROS)	Y (METROS)	1SCOMP (MPa)	2SCOMP (MPa)	3SCOMP (MPa)	4SCOMP (MPa)
-67.26	-129.80	2.4	1.8	2.4	2.2
Coordenada relativa X punto 1	Coordenada relativa Y punto 1	1 sondeo 10 cm punto 1	2 sondeo 10 cm punto 1	3 sondeo 10 cm punto 1	4 sondeo 10 cm punto 1

Tabla 3-8

Los datos fueron recogidos de las tarjetas gráficas del penetrómetro, mediante una plantilla transparente adecuada para tal fin. La posibilidad de digitalización de estas tarjetas fué desechada, porque en cada una de las tarjetas se habían realizado los cuadro sondeos, y la concordancia de ejes, en la práctica era difícil. La utilización de estos datos, se realiza secuencialmente mediante los apartados que se citan:

STAT1: Nos ejecuta un análisis estadístico (univariante) de cada una de las variables introducidas en los términos siguientes:

DATOS ESTADISTICOS DE LOS SONDEOS				
Archivo: GEOEST PIA10CM.DAT				
	1SCOMP	2SCOMP	3SCOMP	4SCOMP
N usados:	30	30	30	30
N perdidos:	0	0	0	0
N.LE. 0:	0	0	0	0
Media:	2.407	2.463	2.813	2.623
Varianza:	1.614	1.507	1.772	0.998
Std. Dev.:	1.27	1.227	1.331	0.999
Coef. Var.:	52.784	49.827	47.319	38.076
Skewness:	0.409	0.808	0.334	0.247
Kurtosis:	2.201	2.383	1.629	1.847
Mínimo:	0.4	1	1	1
75th %tile:	1.5	1.55	1.65	1.75
Mediana:	2.3	2	2.45	2.5
75th %tile:	3.4	2.95	4.3	3.45
Máximo:	4.9	4.9	5	4.4

Tabla 3-9

De este análisis inicial se pueden ya recoger algunas características de estas cuatro variables, por ejemplo el coeficiente de variación más pequeño corresponde a 4SCOMP, la varianza y la desviación típica también, sin embargo no son suficientes para la elección de la variable más significativa.

La Geoestadística es un método de análisis estadístico que correlaciona una serie de datos en el espacio. La característica fundamental está en el uso de los semivariogramas para cuantificar y representar la correlación espacial de la variable.

Matheron (1971) desarrolló la teoría de las variables regionalizadas, en la que describe los fundamentos de la geoestadística. Se considera un espacio S, donde se han

medido una serie de "n" valores {Z(xi), i=1,n } y cada xi es una coordenada de posición (xi,yi), i = 1,n. Cada Z (xk) puede ser considerado como un valor particular de la variable aleatoria Z (xk), para un punto fijo xk. La variable regionalizada Z (xi), para cada xi en S, puede ser considerada como la realización de variables aleatorias {Z(xi), ∀ xi en S } (Journel and Huijbregts, 1978).

Una variable regionalizada es simplemente una función Z (x) que adopta un valor para cada punto en el espacio (Samper, Carrera 1991). En geoestadística, el grado de variabilidad de un fenómeno natural está expresado por el semivariograma, y el proceso de estimación está realizado por el procedimiento llamado "krigeado".

La teoría de las variables regionalizadas fué desarrollado originalmente con el propósito de la estimación espacial en evaluaciones mineras. Los objetivos de esta teoría son:

* Determinar la variabilidad del fenómeno natural a estudiar.
* Representación gráfica de la variabilidad utilizando modelos teóricos.
* Estimación de valores donde la información está no disponible o es desconocida.
* Cálculo del el error cometido en realizar tal estimación (Spruill and Candela,1990).

Geoestadísticamente, las variables regionalizadas presentan una variabilidad particular. Hacemos que Z(x) sea una variable regionalizada, que es una función aleatoria que depende de la localización del parámetro "x".

Sean Z(x) y Z(x+h) dos variables aleatorias correspondiente a la variable regionalizada Z(x) en los puntos "x" y "x+h": siendo h, la distancia y orientación relativa entre ellos. Estas dos variables están correlacionadas. La variabilidad entre Z(x) y Z(x+h) está caracterizada por la función semivariograma 2g (x,h). El semivariograma está definida como la esperanza de la variable aleatoria:

$$[Z(x) - Z(x+h)]^2$$

de este modo: $2\gamma(x,h) = [Z(x) - Z(x+h)]^2$

En principio, el semivariograma es función del punto x, y del vector h (Journel and Huijbregts, 1978)

Para obtener el semivariograma, es necesario sacar una muestra de la variable regionalizada en intervalos regulares (por ejemplo h= 20.751m, en el intervalo 3) y en una determinada dirección. Para procesar el semivariograma, se ha utilizado el siguiente estimador:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} [Z(xi) - Z(xi + h)]^2$$

* N(h): número de pares de puntos Z(x), Z(x+h) a distancia h.
* Z(xi): valor de la variable en el punto xi(baja)

Se puede afirmar que el semivariograma de variables aleatorias Z(x) y Z(x+h) definidas como:

$$\gamma(x, x+h) = \gamma(h) = \frac{1}{2} E[Z(x) - Z(x+h)]^2$$

es estacionario, porque:

1) E[Z(x)] existe y no depende de "x"

$E[Z(x)]= m \quad \forall x$

2) Existe la función semivariograma y solo depende de la separación h.

<u>PREVAR</u>: Calcula la distancia y la dirección relativa entre pares de puntos en una

área determinada (parcela). El número de pares depende de los puntos que se toman de cada parcela:

Parcela 1	435	pares
Parcela 2	1275	pares
Parcela 3	666	pares

VARIO: Analiza y modela un variograma en dos dimensiones. Utiliza los pares anteriores para calcular la distancia media y los valores del variograma.

Nº	Pares	Distancia Media	V.Estimado
1	1	8.387	0.02
2	6	14.024	0.551
3	54	20.751	0.793
4	29	28.834	0.982
5	60	40.429	1.578
6	25	47.11	1.076
7	43	58.485	1.093
8	23	65.133	0.653
9	13	73.684	0.717
10	41	81.521	0.998
11	13	92.186	1.783
12	33	100.985	0.614
13	10	110.909	1
14	24	119.795	0.902
15	8	126.716	0.721
16	18	137.291	1.551
17	8	144.173	0.468
18	8	153.374	1.109
19	9	160.292	0.417
20	9	171.791	0.051

Tabla 3-10

El semivariograma que se estima a partir de los pares de puntos de los datos de campo suministrados, se llama semivariograma muestral ó experimental.

Figura 3-9

Los parámetros que definen el semivariograma:

Efecto pepita (Co): Nos indica que la variabilidad entre dos valores Z(x) y Z(x+h) tomados en puntos muy cercanos, puede ser bastante significativa. A veces se puede atribuir al error experimental no explicado por el semivariograma, ya sea por el modelo se semivariograma utilizado o por la exactitud y precisión en la toma de datos. Por eso al realizar la validación del semivariograma se tiene en cuenta los valores máximos y mínimos de la variable Z.

Alcance: Es la distancia a partir de la cual las variables aleatorias Z(x) y Z(x+h) no están correlacionadas. Es la distancia donde la variable está correlacionada con ella misma.

La variable (SCOMP) estará relacionada con las observaciones que se encuentren a una distancia inferior al alcance.

Meseta: Es el valor de la semivarianza de la variable a validar. Este valor es invariable.

Si Z es estacionaria, γ alcanza un valor límite constante llamado meseta que coincide con la varianza de Z.

De los tres elementos a analizar, solamente el alcance y el efecto pepita pueden cambiar su valor a efectos de validar el semivariograma. Una vez representado el semivariograma muestral, se debe ajustar a un modelo teórico que cumplirá con una serie de condiciones establecidas.

Del conjunto se semivariogramas teóricos se ha elegido el **modelo esférico** por los siguientes motivos:

1) Alcanza la meseta para una distancia finita (h= 38m) para el ejemplo que nos ocupa.

2) El conjunto de pares de puntos representados (en el semivariograma muestral), presenta una gráfica con quiebros muy acusados. Aparecen tanto fluctuaciones de pequeña amplitud pero de gran frecuencia, como de amplitud grande y frecuencia baja. (Samper, Carrera,1991).

RESULTADOS			
Variable: 4SCOMP			
Mínimo: 1.00 Estimador: Semivariograma			
Máximo: 4.400 Pares		Totales: 435	
Tolerancia: 90.000		Dirección: .000	
Modelo:	Esférico		
Pepita:	0.03		
Meseta:	0.965		
Alcance:	38		
Nº	Pares	Distancia Media	V.Estimado
1	1	8.387	0.02
2	6	14.024	0.551
3	54	20.751	0.793
4	29	28.834	0.982
5	60	40.429	1.578
6	25	47.11	1.076
7	43	58.485	1.093
8	23	65.133	0.653
9	13	73.684	0.717
10	41	81.521	0.998
11	13	92.186	1.783
12	33	100.985	0.614
13	10	110.909	1
14	24	119.795	0.902
15	8	126.716	0.721
16	18	137.291	1.551
17	8	144.173	0.468
18	8	153.374	1.109
19	9	160.292	0.417
20	9	171.791	0.051

Tabla 3-11

Las ecuaciones que presenta este modelo:

$$\gamma(h) = \frac{S}{2}\,[3(h/a) - (h/a)^3] \quad h \leq a$$
$$S \qquad\qquad h > a$$

Siendo a: alcance, S: meseta

La distancia integral (ω) nos indica el grado de correlación espacial de la variable:

$$\omega = \frac{1}{S}\int_0^2 S\,[1 - 3/2\,(h/a) + 1/2\,(h/a)3]dh = \frac{5}{12}\,a$$

Figura 3-10

De las pruebas realizadas en VARIO respecto a la presencia de anisotropía, se probó con diferentes direcciones, y no hubo diferencia significativa a la hora de establecer los valores de los diferentes pares de números, para la ejecución del semivariograma.

La interpolación de la variable SCOMP, consiste en estimar el valor de la variable SCOMP en un punto determinado a partir de la combinación lineal de los valores medidos Zscomp a su alrededor y sus coeficientes (λi) respectivos:

$$Z^* = \sum_{i=1}^{n} \lambda i.\ Zscomp$$

Puesto que las mediciones de las parcelas se realizaron mediante cuadrículas, en la estimación del valor de la variable se ha efectuado con cuatro puntos a su alrededor (puntos vecinos). En la aplicación del programa se probó con más puntos (hasta 8), pero sin ninguna diferencia significativa en cuanto a los resultados. De la fórmula anterior, y con los resultados dados en el sistema de ecuaciones lineales:

$$Z^* = \sum_{1=1}^{n} \lambda i.\ Zscomp = (2.5 \times 0.365)+(1.5 \times 0.324)+(4.0 \times 0.307) +(1.8 \times 0.004) = 2.63$$

Figura 3-11

El punto al que se estima el valor de la variable es el nº4, y los puntos vecinos seleccionados: 3, 2, 5, 9 de los que se han calculado sus coeficientes (λi). Se presenta en el siguiente esquema todos los resultados que nos interesan en forma resumida:

Resultados de la variable: 4SCOMP

Punto krigeado es: (-81.570, -95.580)
Punto, Valor: 4 4.000

Punto	X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
5	-68.130	-105.400	2.500	16.645	.365	.371
3	-92.710	-111.100	1.500	19.104	.324	.298
9	-69.930	-79.250	4.000	20.054	.307	.272
2	-81.510	-119.000	1.800	23.420	.004	.186

P.Vecinos 4 ∑λ(i): 1.00
V. Estimado: 2.63V. Verdadero: 4.00
σrk: . 870 ∑λγi: .316
σ^2k 757 μ:- .786E-01

Tabla 3-12. **Resultados de la variable: 4SCOMP.**

La solución del sistema lineal de ecuaciones requiere el conocimiento del valor del semivariograma en (xi, x_j). El problema se reduce a resolver el sistema de ecuaciones:

$$AX = B$$

donde:

$$A = \begin{pmatrix} \gamma(x_1, x^1) & \gamma(x_1, x^2) & \dots & \gamma(x_1, x^n) & 1 \\ \gamma(x_2, x^1) & \gamma(x_2, x^2) & \dots & \gamma(x_2, x^n) & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 1 \\ \gamma(x_n, x^1) & \gamma(x_n, x^2) & & \gamma(x_n, x^n) & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad X = \begin{pmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \vdots \\ \gamma_n \\ \mu \end{pmatrix}$$

$$, B= \begin{pmatrix} \gamma(x_1, x^0) \\ \gamma(x_2, x^0) \\ \dots \\ \gamma(x_n, x^0) \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \gamma(x_1, x^1) & \gamma(x_1, x^2) & \dots & \gamma(x_1, x^n) & 1 \\ \gamma(x_2, x^1) & \gamma(x_2, x^2) & \dots & \gamma(x_2, x^n) & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 1 \\ \gamma(x_n, x^1) & \gamma(x_n, x^2) & & \gamma(x_n, x^n) & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ : \\ \gamma_n \\ \mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma(x_1, x^0) \\ \gamma(x_2, x^0) \\ \dots \\ \gamma(x_n, x^0) \\ 1 \end{pmatrix}$$

que sustituyendo:

$$\begin{pmatrix} 0 & .850 & .870 & .696 & 1 \\ .850 & 0 & .995 & .525 & 1 \\ .870 & .995 & 0 & .995 & 1 \\ .696 & .529 & .995 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \gamma_3 \\ \gamma_4 \\ \mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} .624 \\ .696 \\ .723 \\ .809 \\ 1.00 \end{pmatrix}$$

$\gamma_1 = .365$; $\gamma_2 = .325$; $\gamma_3 = .307$; $\gamma_4 = .007$; $\mu = -.079$

El término μ es el multiplicador de Lagrange para este sistema de ecuaciones. Los resultados son los mismos salvo pequeñas diferencias, atribuibles aveces a la apreciación de la tercera cifra significativa.

De un modo general, para ver gráficamente todos los datos se construye el mapa de error que representa el resultado de la diferencia entre el valor estimado y la variable SCOMP considerada.

+ : La diferencia entre el valor estimado y el observado es mayor que 0.

x : La diferencia entre el valor estimado y el observado es menor que 0.

Figura 3-12

El tamaño del signo es proporcional al error producido en cada punto:

Punto	Z*(Estimado)	4SCOMP	Z* - 4SCOMP
4	2.63	4	-1.64
5	3.05	2.5	0.55
6	2.13	2.2	0.07

Tabla 3-13

Una vez ejecutado el desarrollo gráfico de los valores estimados por krigeado, conviene demostrar analíticamente la bondad de todos los datos conjuntos del semivariograma. Para ello se validan todos los datos mediante el método denominado Validación Cruzada. Con este método se intenta interpolar el valor de la variable en cada uno de los puntos medidos sin tener en cuenta su valor. La comparación entre valores estimados y observados se elabora una serie de estadísticos que evalúan la bondad del semivariograma elegido.

En la siguiente figura se pueden ver los resultados de tal validación. Si el

semivariograma representara la variabilidad espacial de la compactación de manera perfecta, todos los puntos estarían sobre la diagonal. La dispersión que podemos observar indica que el modelo no puede explicar toda la variabilidad medida.
Figura 3-13

El resumen analítico de la validación que realiza XVALID es el siguiente:

RESULTADOS KRIGEADO					
Archivo: GEOEST P1A10CM.DAT					
X Variable: X					
Y Variable: Y					
krigeado:	4SCOMP		Nº Datos:	30	
Tipo:	Ordinario		nº de Observaciones Eliminadas: 0		
	Variable	V.Estimados	Diferencia	Krigeado Std	Zscore
Mínimo	1	1.93	-1.544	0.675	-1.826
25%	1.7	2.167	-0.754	0.819	-0.959
Mediana	2.5	2.656	0.094	0.88	0.111
75%	3.4	2.964	0.553	0.895	0.734
Máximo	4.4	3.51	1.877	0.949	2.106
N	30	30	30	30	30
Media	2.623	2.652	0.029	0.857	0.028
Dev. Std.	0.999	0.421	0.883	0.064	1.014

Tabla 3-14

Se indica: los valores máximos y mínimos, la mediana, la media y la desviación típica para la variable 4SCOMP, para los valores estimados, y las diferencias entre ambos. La variación de la estimación en el krigeado se observa en la columna: Krigeado Std. El estadístico Zscore se calcula como el cociente entre la diferencia de la variable y el valor estimado y la varianza de estimación. El valor de este estadístico tiene que ser 1, con lo que se puede afirmar que la desviación típica de Zscore del conjunto de los datos observados es de 1.014. Esto implica que los errores que se cometen en la estimación son los mismos que las variaciones estimadas por el krigeado.

El coeficiente de correlación entre los valores krigeados (2.652) y los medidos (2.623) próximo a 1. Vieira et al. (1981) han utilizado este criterio para verificar la validez del modelo de semivariograma. En general, el valor de este coeficiente depende del número y de la calidad de los datos disponibles.

Otra observación importante es que la desviación típica de la variable (0.999) en estudio siempre tiene que ser mayor que las diferencias entre los valores estimados y observados (0.883). Cuanto menor sea la desviación típica de la diferencia de los valores estimados y observados más se acercará la distribución de los valores estimados a la de los observados (Serreta y Playán,1993).

Esta validación se ha realizado con las cuatro variables 1SCOMP/2SCOMP/3SCOMP/4SCOMP, y se ha elegido la que se ajustaba mejor a las condiciones anteriores.

KRIGE: Es una herramienta del programa en la que nos dibuja las curvas de contorno de los puntos que ha generado una malla previamente dimensionada y construida según las necesidades de interpolación de la variable. La malla y los puntos interpolados han sido creados a partir de las coordenadas de posición, X e Y del archivo base, y los valores de

compactación.

P1/A/COMPACTACION 10CM					
X (METROS)	Y (METROS)	1SCOMP (Mpa)	2SCOMP (Mpa)	3SCOMP (Mpa)	4SCOMP (Mpa)
-67.26	-129.80	2.4	1.8	2.4	2.2

Tabla 3-15

Este es el archivo original donde se ha resumido el valor de las cuatro variables. Posteriormente y por el proceso de validación se ha elegido la variable 4SCOMP. En KRIGE a partir del archivo P1A10CM.DAT se ha generado el archivo P1A10CM.GRD, que es el que recoge toda la información para la interpolación:

Parámetros de la cuadrícula:

	X	Y
Coordenadas origen	-92.710	-129.800
Distancia entre puntos rejilla	15.46	15.91
Número de puntos a ejecutar en direcciones (X-Y)	10	10

Tabla 3-16

Todos los parámetros se han elegido por defecto. En el cuadro que sigue, se podrán observar las coordenadas producidas según los datos de cuadrícula, establecidos anteriormente. En cuanto a los sondeos en la tercera columna nos dá el resultado de la estimación de la variable y en la cuarta la diferencia entre el valor estimado y el valor verdadero, con la observación de que las coordenadas dadas en las cuadrículas.GRD, no coinciden con las utilizadas en XVALID. A veces en estas columnas no hay dato, sino un guión (-). Esto se interpreta como valores de interpolación que están fuera de la elipse previamente marcada dando valores desconocidos.

Es importante crear las mismas cuadrículas, con el fin de uniformizar los resultados finales, tanto en el aspecto de coordenadas, como en el aspecto gráfico.

Estimación krigeado generado por Archivo p1a10cm.grd							
X	Y	*4SCOMP	KSD4SCOMP	X	Y	*4SCOMP	KSD4SCOMP
1)-92.71	-129.80	2.	1.	1)-15.42	-129.80	-	-
2)-92.71	-129.80 +15.91= -113.89	2.	0.	2)-15.42	-129.80 +15.91= -113.89	2.	1.
3)-92.71	-113.89 +15.91= -97.98	3.	1.	3)-15.42	-113.89 +15.91= -97.98	3.	1.
4)-92.71	-97.98 +15.91= -82.06	3.	1.	4)-15.42	-97.98 +15.91= -82.06	3.	1.
5)-92.71	-82.06 +15.91= -66.15	4.	1.	5)-15.42	-82.06 +15.91= -66.15	4.	1.
6)-92.71	-66.15 +15.91= -50.24	-	-	6)-15.42	-66.15 +15.91= -50.24	3.	1.
	-50.24				-50.24		

7)-92.71	+15.91= -34.33	-	-	7)-15.42	+15.91= -34.33	3.	1.
8)-92.71	-34.33 +15.91= -18.42	-	-	8)-15.42	-34.33 +15.91= -18.42	4.	0.
9)-92.71	-18.42 +15.91= -2.50	-	-	9)-15.42	-18.42 +15.91= -2.50	4.	1.
10)-92.71	-2.50 +15.91= 13.41	-	-	10)-15.42	-2.50 +15.91= 13.41	3.	1.
-92.71 +15.46= -77.25	-129.80	2.	1.	-15.42 +15.46= .03	-129.80	-	-
-92.71 +15.46= -77.25	-113.89	2.	1.	-15.42 +15.46= -03	-113.89	-	-
-92.71 +15.46= -77.25	-97.98	4.	1.	-15.42 +15.46= .03	-97.98	3.	1.
-92.71 +15.46= -77.25	-82.06	4.	1.	-15.42 +15.46= .03	-82.06	4.	1.
-92.71 +15.46= -77.25	-66.15	3.	1.	-15.42 +15.46= .03	-66.15	4.	1.
-92.71 +15.46= -77.25	-50.24	3.	1.	-15.42 +15.46= .03	-50.24	3.	1.
-92.71 +15.46= -77.25	-34.33	2.	1.	-15.42 +15.46= .03	-34.33	3.	0.
-92.71 +15.46= -77.25	-18.42	-	-	-15.42 +15.46= .03	-18.42	4.	1.
-92.71 +15.46= -77.25	-2.50	-	-	-15.42 +15.46= .03	-2.50	4.	1.
-92.71 +15.46= -77.25	13.41	-	-	-15.42 +15.46= .03	13.41	3.	1.
-61.80	-129.80	2.	1.	15.49	-129.80	-	-

Tabla 3-17. **Estimación krigeado generado por Archivo p1a10cm.grd**

CONREC: Es la parte del programa, que nos dibuja el contorno de las curvas del archivo GRD. En los esquemas que siguen se puede observar, la representación de los diferentes niveles de compactación. Algunas veces se ha tenido que cambiar el valor inicial para unificar las curvas resultantes. En ejemplo que nos ocupa, el valor inicial más pequeño es de 0.9 y se cambió a 0.8, porque al aplicarle una equidistancia de 0.4 todos los archivos nos dieran las mismas curvas. Las curvas con las que normalmente se trabaja:

0.80, 1.20, 1.60, 2.00, 2.40, 2.80, 3.20, 3.60, 4.00, 4.40

En el dibujo a continuación se puede observar la representación de las curvas con las características señaladas en el párrafo anterior (estimación variable 4SCOMP).

En algunas zonas de contorno nos pueden salir las letras H o bien L. La primera nos indicará un error de krigeado muy alto, y la segunda lo contrario.

Figura 3-14
Figura 3-15

Con el fin de ordenar todos los conceptos mencionados anteriormente y para encontrar cualquier dato con la máxima rapidez, se ha confeccionado un índice para identificar cada figura o datos.

Para cada una de las parcelas y para cada profundidad:

* Esquemas resumen de cada variable
(anejo nº 3: Gráficos de Geoestadística)

-Estado actual de la variable.
-Histograma.
-Mapa de error.
-Validación de la variable.
-Contorno del krigeado de la variable.
-Contorno del krigeado de la KSD variable.

* Datos analíticos

-Cuadro general de los cuatro sondeos realizados.
-Resumen estadístico univariante.
-Validación de los resultados.
-Cuadro resumen krigeado.
-Estimación del krigeado (para la creación archivos.GRD)
-Resumen del variograma.
-Ecuaciones de cada punto.

Debido a la gran cantidad de datos analíticos necesarios para el estudio geoestadístico, se han recogido en un disco compacto (CD-Kodak®) de fácil acceso desde cualquier ordenador provisto de unidad de CD-ROM, y con el procesador de texto Microsoft Word versión 6.0.

* Situación del punto krigeado con respecto a sus vecinos (anejo nº 4).

Los esquemas y datos que siguen son los que corresponden a P1A10CM (parcela 1, antes de nivelación y a una profundidad de 10 cm), y colocados en el orden presentado en el desarrollo del programa GEO-EAS:

Figura 3-16

P1/COMPACTACION 10CM					
X (METROS)	Y (METROS)	1SCOMP (Mpa)	2SCOMP (Mpa)	3SCOMP (MPa)	4SCOMP (MPa)
-67.26	-129.80	2.4	1.8	2.4	2.2
-81.51	-119.00	1.6	1.9	1.8	1.8
-92.71	-111.10	0.7	2.8	1	1.5
-81.57	-95.58	4.7	4.7	4.4	4
-68.13	-105.40	4.4	1.4	1.6	2,5
-53.48	-116.30	2.2	2.1	2.2	2.2
-39.73	-101.70	1.5	1.5	1.5	1.5
-54.36	-90.79	1.1	2.5	1.5	4.1
-69.93	-79.25	4.3	3	4.5	4
-57.19	-63.78	2.3	4.2	1.3	2.5
-40.74	-76.04	3.3	1	4.4	2.3
-26.19	-86.99	2.3	2.3	2.3	2.3
-13.14	-71.86	2	4.4	4.4	4.4
-27.07	-61.39	3.5	1.5	4.7	3,2
-43.90	-48.78	1	1.6	1.9	1.5
-30.17	-34.54	4,9	2.9	4.5	1
-13.26	-46.76	2.3	1.1	5	2.9
1.17	-58.03	3.5	4.9	2.7	3.7
14.14	-42.64	1.2	1.2	1.2	1.2
-0.32	-31.76	0.4	3.1	2.4	3.8
-16.41	-19.94	1.5	4.8	4.2	3.5
-3.47	-4.74	4	4.5	4.2	4.2
12.31	-16.33	1.6	1.8	2.5	3.4
26.86	-27.21	1.7	1.7	1.7	1.7
40.05	-12.09	2.4	2.6	2.8	2.7
25.50	-1.45	2.4	2.6	2.8	2.7
9.42	10.65	2.4	1.6	2.8	2.7
46.40	-5.44	2.1	1.6	1.8	1.8
33.78	7.39	0.5	1.8	1	1.8
27.94	13.41	4	1	4.9	1.6

Tabla 3-18. **P1/A/COMPACTACION 10CM**

DATOS ESTADISTICOS DE LOS SONDEOS				
Archivo: |GEOEST|P1A10CM.DAT				
	1SCOMP	2SCOMP	3SCOMP	4SCOMP
N usados:	30	30	30	30
N perdidos :	0	0	0	0
N.LE. 0:	0	0	0	0
Media:	2.407	2.463	2.813	2.623
Varianza:	1.614	1.507	1.772	0.998
Std. Dev.	1.27	1.227	1.331	0.999
Coef Var.:	52.784	49.827	47.319	38.076
Skewness:	0.409	0.808	0.334	0.247
Kurtosis:	2.201	2.383	1.629	1.847
Mínimo:	0.4	1	1	1
25th %tile:	1.5	1.55	1.65	1.75
Mediana:	2.3	2	2.45	2.5
75th %tile:	3.4	2.95	4.3	3.45
Máximo:	4.9	4.9	5	4.4

Tabla 3-19. DATOS ESTADISTICOS DE LOS SONDEOS

VALIDACION DE LOS RESULTADOS: Krigeado 4SCOMP para archivo: P1A10CM.DAT						
X	Y	4SCOMP	Zstar(MPa)	Zsdev	Zstar - Z	Zscore
-54.36	-90.79	4,1	2.5564	0.84516	-1.5436	-1.8263
-81.57	-95.58	4	2.633	0.86985	-1.367	-1.5716
-13.14	-71.86	4.4	3.0754	0.88018	-1.3246	-1.505
-0.32	-31.76	3.8	2.6718	0.84496	-1.1282	-1.3352
-3.47	-4.74	4.2	3.2095	0.90116	-0.99045	-1.0991
1.17	-58,03	3.7	2.841	0.89539	-0.85899	-0.95935
40.05	-12.09	2.7	1.9463	0.72784	-0.75369	-1.0355
-16.41	-19.94	3.5	2.9642	0.90246	-0.53578	-0.59369
-69.93	-79.25	4	3.5101	0.90259	-0.48987	-0.54274
12.31	-16.33	3.4	3.0534	0.84374	-0.34661	-0.4108
25.5	-1.45	2.7	2.3625	0.77918	-0.33747	-0.43311
-27.07	-61.39	3.2	2.9035	0.84864	-0.29649	-0.34937
-67.26	-129.8	2.2	2.029	0.94911	-0.171	-0.18016
-53.48	-116.3	2.2	2.1322	0.88729	-0.067814	-0.076429
-13.26	-46.76	2.9	2.9944	0.85318	0.094431	0.11068
33.78	7.39	1.8	1.9299	0.67526	0.12988	0.19234
-81.51	-119	1.8	1.9519	0.80322	0.15194	0.18916
-57.19	-63.78	2.5	2.6537	0.90892	0.15373	0.16914
9.42	10.65	2.7	2.9445	0.92368	0.24448	0.26468
-26.19	-86.99	2.3	2.7481	0.89163	0.44806	0.50251
27.94	13.41	1.6	2.1368	0.73067	0.53682	0.73469
-68.13	-105.4	2.5	3.0529	.81876	0.55292	0.67531
46.4	-5.44	1.8	2.4208	0.78251	0.62075	0.79328
-43.9	-48.78	1.5	2.1675	0.90982	0.66746	0.73361

-40.74	-76.04	2.3	2.9886	0.85191	0.68858	0.80828
26.86	-27.21	1.7	2.4587	0.89002	0.75873	0.85248
-92.71	-111.1	1.5	2.6556	0.89534	1.1556	1.2907
-39.73	-101.7	1.5	2.8691	0.89194	1.3691	1.535
-30.17	-34.54	1	2.6241	0.90747	1.6241	1.7896
14.14	-42.64	1.2	3.0772	0.89122	1.8772	2.1063

Tabla 3-20. **VALIDACION DE LOS RESULTADOS: krigeado 4SCOMP para archivo: P1A 10CM.DAT**

RESULTADOS KRIGEADO					
Archivo : GEOEST P1A10CM.DAT					
X Variable: X					
Y Variable: Y					
Krigeado :4SCOMP		# Data usados :		30	
Tipo : Ordinario		nº de Observaciones Eliminadas:			
		0			
	Variable	V. Estimados	Difference	Krigeado Std	Zscore
Mínimo	1	1.93	-1.544	0.675	-1.826
25th %tile	1.7	2.167	-0.754	0.819	-0.959
Median	2.5	2.656	0.094	0.88	0.111
75th %tile	3.4	2.964	0.553	0.895	0.734
Máximo	4.4	3.51	1.877	0.949	2.106
N	30	30	30	30	30
Media	2.623	2.652	0.029	0.857	0.028
Std. Dev.	0.999	0.421	0.883	0.064	1.014

Tabla 3-21. **RESULTADO KRIGEADO**

Estimación Krigeado generado por Archivo p1a10cm.grd							
X	Y	*4SCOMP	KSD4SCOMP	X	Y	*4SCOMP	KSD4SCOMP
-92.71	-129.80	2.	1.	-15.42	-129.80	-	-.
-92.71	-113.89	2.	0.	-15.42	-113.89	2.	1.
-92.71	-97.98	3.	1.	-15.42	-97.98	3.	1.
-92.71	-82.06	3.	1.	-15.42	-82.06	3.	1.
-92.71	-66.15	4.	1.	-15.42	-66.15	4.	1.
-92.71	-50.24	-	-	-15.42	-50.24	3.	1.
-92.71	-34.33	-	-	-15.42	-34.33	3.	1.
-92.71	-18.42	-	-	-15.42	-18.42	4.	0.
-92.71	-2.50	-	-	-15.42	-2.50	4.	1.
-92.71	13.41	-	-	-15.42	13.41	3.	1.
-77.25	-129.80	2.	1.	03	-129.80	-	-
-77.25	-113.89	2.	1.	.03	-113.89	-	-
-77.25	-97.98	4.	1.	.03	-97.98	3.	1.
-77.25	-82.06	4.	1.	.03	-82.06	4.	1.
-77.25	-66.15	3.	1.	.03	-66.15	4.	1.
-77.25	-50.24	3.	1.	.03	-50.24	3.	1.
-77.25	-34.33	2.	1.	.03	-34.33	3.	0.

-77.25	-18.42	-	-	.03	-18.42	4.	1.
-77.25	-2.50	-	-	.03	-2.50	4.	1.
-77.25	13.41	-	-	.03	13.41	3.	1.
-61.80	-129.80	2.	1.	15.49	-129.80	-	-
-61.80	-113.89	2.	1 .	15.49	-113.89	-	-
-61.80	-97.98	3.	1.	15.49	-97.98	-	-
-61.80	-82.06	4.	1.	15.49	-82.06	4.	1.
-61.80	-66.15	3.	1.	15.49	-66.15	3.	1.
-61.80	-50.24	2.	1.	15.49	-50.24	2.	1.
-61.80	-34.33	2.	1.	15.49	-34.33	2.	1.
-61.80	-18.42	1.	1.	15.49	-18.42	3.	1.
-61.80	-2.50	-	-	15.49	-2.50	3.	1.
-61.80	13.41	-	-	15.49	13.41	2.	1.
-46.34	-129.80	2.	1.	30.95	-129.80	-	-
-46.34	-113.89	2.	1.	30.95	-113.89	-	-
-46.34	-97.98	3.	1.	30.95	-97.98	-	-
-46.34	-82.06	3.	1.	30.95	-82.06	-	-
-46.34	-66.15	2.	1.	30.95	-66.15	2.	1.
-46.34	-50.24	2.	0.	30.95	-50.24	2.	1.
-46.34	-34.33	2.	1.	30.95	-34.33	2.	1.
-46.34	-18.42	2.	1.	30.95	-18.42	2.	1.
-46.34	-2.50	3.	1.	30.95	-2.50	2.	1.
-46.34	13.41	-	-	30.95	13.41	2.	0.
-30.88	-129.80	2.	1.	46.40	-129.80	-	-
-30.88	-113.89	2.	1.	46.40	-113.89	-	-
-30.88	-97.98	2.	1 .	46.40	-97.98	-	-
-30.88	-82.06	2.	1.	46.40	-82.06	-	-
-30.88	-66.15	3.	1.	46.40	-66.15	-	-
-30.88	-50.24	2.	1.	46.40	-50.24	1.	1.
-30.88	-34.33	1.	0.	46.40	-34.33	2.	1.
-30.88	-18.42	2.	1.	46.40	-18.42	2.	1.
-30.88	-2.50	3.	1.	46.40	-2.50	2.	1.
-30.88	13.41	4.	1.	46.40	13.41	2.	1.

Tabla 3-22. **Estimación Krigeado generado por Archivo p1a10cm.grd**

RESULTADOS			
Variable: 4SCOMP			
Mínimo: 1.00		Estimador : Semivariograma	
Máximo: 4.400		Pares Totales : 435	
Tolerancia : 90.000		Dirección : .000	
Modelo: Esférico			
Pepita: 0.03			
Meseta: 0.965			
Alcance: 38			
Nº	Pares	Distancia Media	V.Estimado
1	1	8.387	0.02
2	6	14.024	0.551
3	54	20.751	0.793
4	29	28.834	0.982
5	60	40.429	1.578
6	25	47.11	1.076
7	43	58.485	1.093
8	23	65.133	0.653
9	13	73.684	0.717
10	41	81.521	0.998
11	13	92.186	1.783
12	33	100.985	0.614
13	10	110.909	1
14	24	119.795	0.902
15	8	126.716	0.721
16	18	137.291	1.551
17	8	144.173	0.468
18	8	153.374	1.109
19	9	160.292	0.417
20	9	171.791	0.051

Tabla 3-23. **RESULTADOS. Variable: 4SCOMP**

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (-67.260, -129.800)
Punto, Valor: 1 2.200

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
-81.510	-119.000	1.800	17.880	.472	.334
-53.480	-116.300	2.200	19.291	.430	.293
-68.130	-105.400	2.500	24.416	.086	.163
-92.710	-111.100	1.500	31.582	.012	.039

P.Vecinos: 4 ·Σλ(i) 1.00
V. Estimado: 2.03 V. Verdadero: 2.20
σk: 949 Σλγi: 298
σ^2k: 901 μ:-. 205

Tabla 3-24. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (-81.510, -119.000)
Punto, Valor: 2 1.800

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
-92.710	-111.100	1.500	13.706	.459	.465
-67.260	-129.800	2.200	17.880	.319	.334
-68.130	-105.400	2.500	19.078	.217	.299
-81.570	-95.580	4.000	23.420	.005	.186

P.Vecinos: 4 ·Σλ(i) 1.00
V. Estimado: 1.95 V. Verdadero: 1.80
σk: 803 Σλγi: .386
σ^2k: .645 μ: -.367E-01

Tabla 3-25. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (-92.710, -111.100)
Punto, Valor: 3 1.500

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
-81.510	-119.000	1.800	13.706	.571	.465
-81.570	-95.580	4.000	19.104	.377	.298
-68.130	-105.400	2.500	25.232	.018	.145
-67.260	-129.800	2.200	31.582	.034	.039

P.Vecinos: 4 ·Σλ(i) 1.00
V. Estimado: 2.66 V. Verdadero: 1.50

σk:	.895	$\Sigma\lambda\gamma i$:	.382
$\sigma^2 k$:	.802	μ:	-.189

Tabla 3-26. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (-81.570, -95.580)
Punto, Valor: 4 4.000

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
-68.130	-105.400	2.500	16.645	.365	.371
-92.710	-111.100	1.500	19.104	.324	.298
-69.930	-79.250	4.000	20.054	.307	.272
-81.510	-119.000	1.800	23.420	.004	.186

P.Vecinos: 4 $\cdot\Sigma\lambda$(i) 1.00
V. Estimado: 2.63 V. Verdadero: 4.00

σk:	.870	$\Sigma\lambda\gamma i$:	.316
$\sigma^2 k$:	.757	μ:	-.867E-01

Tabla 3-27. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (-68.130, -105.400)
Punto, Valor: 5 2.500

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
-81.570	-95.580	4.000	16.645	.308	.371
-53.480	-116.300	2.200	18.260	.272	.323
-81.510	-119.000	1.800	19.078	.217	.299
-54.360	-90.790	4.100	20.076	.202	.271

P.Vecinos: 4 $\cdot\Sigma\lambda$(i) 1.00
V. Estimado: 3.05 V. Verdadero: 2.50

σk:	.819	$\Sigma\lambda\gamma i$:	.322
$\sigma^2 k$:	.670	μ:	-.193E-02

Tabla 3-28. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (-53.480, -116.300)
Punto, Valor: 6 2.200

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
-68.130	-105.400	2.500	18.260	.321	.323
-67.260	-129.800	2.200	19.291	.326	.293
-39.730	-101.700	1.500	20.055	.321	.272
-54.360	-90.790	4.100	25.525	.032	.139

P.Vecinos: 4 ·Σλ(i) 1.00
V. Estimado: 2.13 V. Verdadero: 2.20
σk: .887 Σλγi: .291
σ^2k: .787 μ: -.837E-01

Tabla 3-29. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (-39.730, -101.700)
Punto, Valor: 7 1.500

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
-54.360	-90.790	4.100	18.250	.334	.323
-26.190	-86.990	2.300	19.993	.326	.274
-53.480	-116.300	2.200	20.055	.314	.272
-40.740	-76.040	2.300	25.680	.027	.136

P.Vecinos: 4 ·Σλ(i) 1.00
V. Estimado: 2.87 V. Verdadero: 1.50
σk: .892 Σλγi: .286
σ^2k: .796 μ: -.869E-01

Tabla 3-30. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (-54.360, -90.790)
Punto, Valor: 8 4.100

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
-39.730	-101.700	1.500	18.250	.286	.323
-69.930	-79.250	4.000	19.380	.259	.291
-68.130	-105.400	2.500	20.076	.228	.271
-40.740	-76.040	2.300	20.077	.227	.271

P.Vecinos: 4 ·Σλ(i) 1.00
V. Estimado: 2.56 V. Verdadero: 4.10

σk:	.845	$\Sigma\lambda\gamma i$:	.291
$\sigma^2 k$:	.714	μ:	-.109E-01

Tabla 3-31. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (-69.930, -79.250)
Punto, Valor: 9 4.000

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
-54.360	-90.790	4.100	19.380	.317	.291
-57.190	-63.780	2.500	20.041	.337	.272
-81.570	-95.580	4.000	20.054	.335	.272
-68.130	-105.400	2.500	26.212	.011	.125

P.Vecinos: 4 $\cdot\Sigma\lambda$(i) 1.00
V. Estimado: 3.51 V. Verdadero: 4.00

σk:	.903	$\Sigma\lambda\gamma i$:	.276
$\sigma^2 k$:	.815	μ:	-.965E-01

Tabla 3-32. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (-57.190, -63.780)
Punto, Valor: 10 2.500

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
-43.900	-48.780	1.500	20.041	.341	.272
-69.930	-79.250	4.000	20.041	.343	.272
-40.740	-76.040	2.300	20.516	.292	.259
-54.360	-90.790	4.100	27.158	.024	.107

P.Vecinos: 4 $\cdot\Sigma\lambda$(i) 1.00
V. Estimado: 2.65 V. Verdadero: 2.50

σk:	.909	$\Sigma\lambda\gamma i$:	.265
$\sigma^2 k$:	.826	μ:	-.961E-01

Tabla 3-33. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (-40.740, -76.040)
Punto, Valor: 11 2.300

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
-26.190	-86.990	2.300	18.210	.289	.324
-27.070	-61.390	3.200	20.037	.236	.272
-54.360	-90.790	4.100	20.077	.238	.271
-57.190	-63.780	2.500	20.516	.237	.259

P.Vecinos: 4 ·Σλ(i) 1.00
V. Estimado: 2.99 V. Verdadero: 2.30
σk: .852 Σλγi: .284
σ^2k: .726 μ: -.152E-01

Tabla 3-34. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (-26.190, -86.990)
Punto, Valor: 12 2.300

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
-40.740	-76.040	2.300	18.210	.335	.324
-13.140	-71.860	4.400	19.980	.326	.274
-39.730	-101.700	1.500	19.993	.318	.274
-27.070	-61.390	3.200	25.615	.021	.137

P.Vecinos: 4 ·Σλ(i) 1.00
V. Estimado: 2.75 V. Verdadero: 2.30
σk: .892 Σλγi: .288
σ^2k: .795 μ: -.883E-01

Tabla 3-35. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (-13.140, -71.860)
Punto, Valor: 13 4.400

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
-27.070	-61.390	3.200	17.426	.350	.348
1.170	-58.030	3.700	19.901	.316	.276
-26.190	-86.990	2.300	19.980	.305	.274
-13.260	-46.760	2.900	25.100	.029	.148

P.Vecinos: 4 ·Σλ(i) 1.00
V. Estimado: 3.08 V. Verdadero: 4.40

σk:	.880	$\Sigma\lambda\gamma i$:	.297
$\sigma^2 k$:	.775	μ:	-.770E-01

Tabla 3-36. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (-27.070, -61.390)
Punto, Valor: 14 3.200

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
-13.140	-71.860	4.400	17.426	.308	.348
-40.740	-76.040	2.300	20.037	.237	.272
-13.260	-46.760	2.900	20.118	.229	.270
-43.900	-48.780	1.500	21.030	.226	.246

P.Vecinos: 4 $\cdot\Sigma\lambda$(i) 1.00
V. Estimado: 2.90 V. Verdadero: 3.20

σk:	.849	$\Sigma\lambda\gamma i$:	.289
$\sigma^2 k$:	.720	μ:	-.146E-01

Tabla 3-37. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (-43.900, -48.780)
Punto, Valor: 15 1.500

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
-30.170	-34.540	1.000	19.781	.346	.279
-57.190	-63.780	2.500	20.041	.345	.272
-27.070	-61.390	3.200	21.030	.276	.246
-40.740	-76.040	2.300	27.443	.032	.101

P.Vecinos: 4 $\cdot\Sigma\lambda$(i) 1.00
V. Estimado: 2.17 V. Verdadero: 1.50

σk:	.910	$\Sigma\lambda\gamma i$:	.262
$\sigma^2 k$:	.828	μ:	-.952E-01

Tabla 3-38. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (-30.170, -34.540)
Punto, Valor: 16 1.000

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
-43.900	-48.780	1.500	19.781	.349	.279
-16.410	-19.940	3.500	20.062	.334	.272
-13.260	-46.760	2.900	20.863	.278	.250
-27.070	-61.390	3.200	27.028	.039	.109

P.Vecinos: 4 ·Σλ(i) 1.00
V. Estimado: 2.62 V. Verdadero: 1.00
σk: .907 Σλγi: .262
σ^2k: .824 μ: -.909E-01

Tabla 3-39. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (-13.260, -46.760)
Punto, Valor: 17 2.900

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
1.170	-58.030	3.700	18.310	.288	.321
-.320	-31.760	3.800	19.810	.247	.279
-27.070	-61.390	3.200	20.118	.238	.270
-30.170	-34.540	1.000	20.863	.226	.250

P.Vecinos: 4 ·Σλ(i) 1.00
V. Estimado: 2.99 V. Verdadero: 2.90
σk: .853 Σλγi: .282
σ^2k: .728 μ: -.158E-01

Tabla 3-40. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (1.170, -58.030)
Punto, Valor: 18 3.700

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
-13.260	-46.760	2.900	18.310	.333	.321
-13.140	-71.860	4.400	19.901	.322	.276
14.140	-42.640	1.200	20.126	.328	.270
-.320	-31.760	3.800	26.312	.017	.123

P.Vecinos: 4 ·Σλ(i) 1.00
V. Estimado: 2.84 V. Verdadero: 3.70

σk:	.895	$\Sigma\lambda\gamma i$:	.287
$\sigma^2 k$:	.802	μ:	-.938E-01

Tabla 3-41. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (14.140, -42.640)
Punto, Valor: 19 1.200

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
-.320	-31.760	3.800	18.096	.345	.328
26.860	-27.210	1.700	19.997	.327	.273
1.170	-58.030	3.700	20.126	.319	.270
12.310	-16.330	3.400	26.374	.010	.122

P.Vecinos: 4 $\cdot\Sigma\lambda$(i) 1.00
V. Estimado: 3.08 V. Verdadero: 1.20

σk:	.891	$\Sigma\lambda\gamma i$:	.290
$\sigma^2 k$:	.794	μ:	-.893E-01

Tabla 3-42. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (-.320, -31.760)
Punto, Valor: 20 3.800

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
14.140	-42.640	1.200	18.096	.288	.328
-13.260	-46.760	2.900	19.810	.236	.279
12.310	-16.330	3.400	19.940	.233	.275
-16.410	-19.940	3.500	19.965	.243	.274

P.Vecinos: 4 $\cdot\Sigma\lambda$(i) 1.00
V. Estimado: 2.67 V. Verdadero: 3.80

σk:	.845	$\Sigma\lambda\gamma i$:	.291
$\sigma^2 k$:	.714	μ:	-.103E-01

Tabla 3-43. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (-16.410, -19.940)
Punto, Valor: 21 3.500

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
-3.470	-4.740	4.200	19.962	.333	.274
-.320	-31.760	3.800	19.965	.301	.274
-30.170	-34.540	1.000	20.062	.336	.272
-13.260	-46.760	2.900	27.004	.030	.109

P.Vecinos: 4 ·Σλ(i) 1.00
V. Estimado: 2.96 V. Verdadero: 3.50
σk: .902 Σλγi: .268
σ^2k: .814 μ: -.884E-01

Tabla 3-44. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (-3.470, -4.740)
Punto, Valor: 22 4.200

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
12.310	-16.330	3.400	19.579	.312	.285
-16.410	-19.940	3.500	19.962	.339	.274
9.420	10.650	2.700	20.075	.331	.271
-.320	-31.760	3.800	27.203	.018	.106

P.Vecinos: 4 ·Σλ(i) 1.00
V. Estimado: 3.21 V. Verdadero: 4.20
σk: .901 Σλγi: .274
σ^2k: .812 μ: -.912E-01

Tabla 3-45. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (12.310, -16.330)
Punto, Valor: 23 3.400

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
26.860	-27.210	1.700	18.168	.283	.326
-3.470	-4.740	4.200	19.579	.255	.285
25.500	-1.450	2.700	19.884	.231	.277
-.320	-31.760	3.800	19.940	.231	.275

P.Vecinos: 4 ·Σλ(i) 1.00
V. Estimado: 3.05 V. Verdadero: 3.40

σk:	.844	Σλγi:	.292
σ^2k:	.712	μ:	-.916E-02

Tabla 3-46. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (26.860, -27.210)
Punto, Valor: 24 1.700

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
12.310	-16.330	3.400	18.168	.340	.326
14.140	-42.640	1.200	19.997	.319	.273
40.050	-12.090	2.700	20.065	.322	.272
25.500	-1.450	2.700	25.796	.019	.133

P.Vecinos: 4 ·Σλ(i) 1.00
V. Estimado: 2.46 V. Verdadero: 1.70

σk:	.890	Σλγi:	.288
σ^2k:	.792	μ:	-.855E-01

Tabla 3-47. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (40.050, -12.090)
Punto, Valor: 25 2.700

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
46.400	-5.440	1.800	9.195	.591	.621
25.500	-1.450	2.700	18.025	.188	.330
26.860	-27.210	1.700	20.065	.231	.272
33.780	7.390	1.800	20.464	-.010	.261

P.Vecinos: 4 ·Σλ(i) 1.00
V. Estimado: 1.95 V. Verdadero: 2.70

σk:	.728	Σλγi:	.489
σ^2k:	.530	μ:	-.245E-01

Tabla 3-48. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (25.500, -1.450)
Punto, Valor: 26 2.700

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
33.780	7.390	1.800	12.112	.349	.519
27.940	13.410	1.600	15.059	.183	.421
40.050	-12.090	2.700	18.025	.212	.330
12.310	-16.330	3.400	19.884	.255	.277

P.Vecinos: 4 ·Σλ(i) 1.00
V. Estimado: 2.36 V. Verdadero: 2.70
σk: .779 Σλγi: .399
σ^2k: .607 μ: -.116E-01

Tabla 3-49. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (9.420, 10.650)
Punto, Valor: 27 2.700

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
27.940	13.410	1.600	18.725	.414	.309
-3.470	-4.740	4.200	20.075	.409	.271
25.500	-1.450	2.700	20.124	.274	.270
33.780	7.390	1.800	24.577	.096	.159

P.Vecinos: 4 ·Σλ(i) 1.00
V. Estimado: 2.94 V. Verdadero: 2.70
σk: .924 Σλγi: .297
σ^2k: .853 μ: -.156

Tabla 3-50. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (46.400, -5.440)
Punto, Valor: 28 1.800

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
40.050	-12.090	2.700	9.195	.696	.621
33.780	7.390	1.800	17.996	.281	.331
25.500	-1.450	2.700	21.277	-.001	.239
27.940	13.410	1.600	26.384	.024	.121

P.Vecinos: 4 ·Σλ(i) 1.00
V. Estimado: 2.42 V. Verdadero: 1.80

σk:	.783	$\Sigma\lambda\gamma i$:	.528
$\sigma^2 k$:	.612	μ:	-.146

Tabla 3-51. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (33.780, 7.390)
Punto, Valor: 29 1.800

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
27.940	13.410	1.600	8.387	.529	.650
25.500	-1.450	2.700	12.112	.253	.519
46.400	-5.440	1.800	17.996	.210	.331
40.050	-12.090	2.700	20.464	.009	.261

P.Vecinos: 4 $\cdot\Sigma\lambda$(i) 1.00
V. Estimado: 1.93 V. Verdadero: 1.80

σk:	.675	$\Sigma\lambda\gamma i$:	.547
$\sigma^2 k$:	.456	μ:	-.808E-02

Tabla 3-52. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

Resultados de la variable :4SCOMP

Punto krigeado es : (27.940, 13.410)
Punto, Valor: 30 1.600

X(i)	Y(i)	V(i)	Distancia	λ(i)	γ(i)
33.780	7.390	1.800	8.387	.657	.650
25.500	-1.450	2.700	15.059	.106	.421
9.420	10.650	2.700	18.725	.268	.309
46.400	-5.440	1.800	26.384	-.031	.121

P.Vecinos: 4 $\cdot\Sigma\lambda$(i) 1.00
V. Estimado: 2.14 V. Verdadero: 1.60

σk:	.731	$\Sigma\lambda\gamma i$:	.551
$\sigma^2 k$:	.534	μ:	-.904E-01

Tabla 3-53. **Resultados de la variable: 4SCOMP**

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

4) Resultados y discusión

4.1) Variación de la topografía

El movimiento parcial de tierras en nivelación ocasiona una variación en todos los puntos de la parcela. La comparación entre las cotas de las cuadrículas de antes de nivelación y después nos servirán para poder calcular la eficiencia de la nivelación o mejora. El Centro de Agricultura Tropical de Japón(TARC) utiliza un índice de nivelación(L-I), a diferentes altitudes: ± 2.5, 5.0 cm y establece una comparación entre los índices una vez nivelada la parcela. El Servicio de Conservación de Suelos(S.C.S) utiliza la media y la desviación típica, pero con criterios mucho más rigurosos que los anteriores. Estos índices y criterios están referidos siempre a parcelas con nivelación a cero (o también llamada a cota 0).

Cuando las parcelas a nivelar ya tienen una pendiente natural y el objetivo de esta nivelación es restaurar en lo posible esta pendiente, no se puede utilizar estos índices. En los perfiles longitudinales de las parcelas en los anejos se puede observar la pendiente natural antes y después de la nivelación. Se ha ideado un mecanismo lógico para poder calcular dicha eficiencia. Para ello calcularemos la recta de regresión en todos los perfiles longitudinales de la parcela y luego establecer dicho índice.

Se ha considerado un índice de ± 5.0cm [L-I(±5cm)], como suficiente analizando toda la bibliografía al respecto y teniendo en cuenta la sensibilidad del laser a diferentes distancias. En los cuadros siguientes se ha calculado la eficiencia de la nivelación por cada parcela y siguiendo los siguientes apartados:

1) El cálculo de la recta de regresión en cada uno de los perfiles longitudinales:

	PERFIL LONGITUDINAL	ANTES	DESPUÉS
PARCELA 1	1	y = -8.8636 - 0.1868x	y = -2.1091 - 0.1971x
	2	y = -12.2073 - 0. 1514x	y = -3.4145 - 0.1797x
	3	y = -16.0655 - 0.1613x	y = -7,6218 - 0.1611x
PARCELA 2	1	y = -8,539 - 0.2186x	y = -4.0263 - 0.1937x
	2	y = -12.5475 - 0.2147x	y = -5.9555 - 0.2064x
	3	y = -14.533 - 0.2145x	y = -6.173 - 0.2083x
	4	y = -8.2516 - 0.2543x	y = -4.5574 - 0.2345x
PARCELA 3	1	y = -3.0985 - 0.2848x	y = -14.1018 - 0.285x
	2	y = 2.2373 - 0.2591x	y = -11.0263 - 0.2922x
	3	y = -2.8203 - 0.2714x	y = -15.1542 - 0.269x

Tabla 4-1

2) Comparar la cota topográfica, con la obtenida por la ecuación de la recta:
Si la DIFERENCIA ≥ 5 cm No cumple (nº rojo)
Si la DIFERENCIA < 5 cm Si cumple (nº azul)
3) Evaluación del porcentaje de mejora.

	PARCELA 1							DIFERENCIAS	
punto	x	y	z/cm/A	y=-8.8636-0.1868x	z/cm/D	y=-2.1091-0.1971x	Distancia	L-I(5CM)A	L-I(5CM)D
1	-67.26	-129.8	0	-8.9	0	-2.1	0	8.9	2.1
6	-53.48	-116.3	-11.7	-12.6	-4.7	-6.1	20	0.9	1.4
7	-39.73	-101.7	-15.5	-16.3	-9.1	-10.0	40	0.8	0.9
12	-26.19	-86.99	-22.7	-20.1	-15.8	-13.9	60	-2.6	-1.9
13	-13.14	-71.86	-30.5	-23.8	-20.4	-17.9	80	-6.7	-2.5
18	1.17	-58.03	-32	-27.5	-22.7	-21.8	100	-4.5	-0.9
19	14.14	-42.64	-35.1	-31.3	-27.2	-25.8	120	-3.8	-1.4
24	26.87	-27.21	-41.7	-35.0	-31.7	-29.7	140	-6.7	-2.0
25	40.06	-12.09	-39.8	-38.8	-34.1	-33.6	160	-l.0	-0.5
28	46.4	-5.44	-27.8	-42.5	-32.8	-37.6	180	14.7	4.8
punto	x	y	z/cm/A	y=-12.207-0.1514x	z/cm/D	y=-3.4145-0.1797x	Distancia	L-I(5CM)A	L-I(5CM)D
2	-81.51	-119	-13.7	-12.2	-2.1	-3.4	0	-1.5	1.3
5	-68.13	-105.4	-16.6	-15.2	-6.7	-7.0	20	-1.4	0.3
8	-54.36	-90.79	-13.2	-18.2	-10.2	-10.6	40	5.0	0.4
11	-40.74	-76.04	-21.1	-21.3	-15.2	-14.2	60	0.2	-1.0
14	-27.07	-61.39	-23.7	-24.3	-18.7	-17.8	80	0.6	-0.9
17	-13.26	-46.76	-29.7	-27.3	-22.9	-21.4	100	-2.4	-1.5
20	-0.32	-31.76	-32.6	-30.3	-24.7	-25.0	120	-2.3	0.3
23	12.31	-16.33	-32.9	-33.3	-28.5	-28.6	140	0.4	0.1
26	25.51	-1.46	-36.6	-36.4	-33.7	-32.2	160	-0.2	-1.5
29	33.78	7.39	-38.2	-39.4	-33.2	-35.8	180	1,2	2.6
punto	x	y	z/cm/A	y=-16.065-0.1613x	z/cm/D	y=-7.6218-0.1611x	Distancia	L-I(5CM)A	L-I(5CM)D
3	-92.71	-111.1	-7.7	-16.1	-4.7	-7.6	0	8.4	2.9
4	-81.57	-95.58	-20.6	-19.3	-10.2	-10.8	20	-1.3	0.6

9	-69.93	-79.25	-25.2	-22.5	-15.2	-14.1	40	-2.7	-1.1
10	-57.19	-63.78	-27.7	-25.7	-18.7	-17.3	60	-2.0	-1.4
15	-43.9	-48.78	-33.7	-29.0	-22.9	-20.5	80	-4.7	-2.4
16	-30.17	-34.54	-34.5	-32.2	-25.1	-23.7	100	-2.3	-1.4
21	-16.41	-19.94	-35.1	-35.4	-25.7	-27.0	120	0.3	1.3
22	-3.47	-4.75	-39.8	-38.6	-31	-30.2	140	-1.2	-0.8
27	9.42	10.65	-41.9	-41.9	-33.1	-33.4	160	0.0	0.3
30	27.95	13.42	-39.6	-45.1	-34.6	-36.6	180	5.5	2.0

Tabla 4-2

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

	PARCELA 2							DIFERENCIAS	
punto	x	y	z/cm/A	y=-8.8539-0.2186x	z/cm/D	y=-4.0263-0.1937x	Distancia	L-I(5CM)A	L-I(5CM)D
1	-5.221	-2.48	0	-8.5	0	-4.0	0	8.5	4.0
8	-1.303	2.813	-5.6	-10.7	-2.1	-6.0	10	5.1	3.9
9	8.763	20.125	-16.9	-15.1	-10.4	-9.8	30	-1.8	-0.6
16	19.005	37.072	-25.6	-19.5	-17.7	-13.7	50	-6.1	-4.0
17	28.877	54.288	-32.5	-23.8	-22.7	-17.6	70	-8.7	-5.1
24	39.102	71.53	-37.1	-28.2	-26	-21.5	90	-8.9	-4.5
25	49.111	88.633	-39.2	-32.6	-32.1	-25.3	110	-6.6	-6.8
32	59.371	105.719	-42	-37.0	-36.3	-29.2	130	-5.0	-7.1
33	69.71	122.815	-46.9	-41.3	-38.3	-33.1	150	-5.6	-5.2
40	79.387	140.182	-53.3	-45.7	-39.6	-37.0	170	-7.6	-2.6
41	88.812	157.656	-52.7	-50.1	-46.4	-40.8	190	-2.6	-5.6
48	97.659	175.338	-49	-56.6	-41.1	-46.6	220	7.6	5.5

Tabla 4-3

	P2							DIFERENCIAS	
punto	x	y	z/cm/A	y=-12.547-0.214x	z/cm/D	y=-5.9555-0.2064x	Distancia	L-I(5CM)A	L-I(5CM)D
2	-21.932	2.637	0.2	-12.5	2.1	-6.0	0	12.7	8.1
7	-17.307	11.265	-11.6	-14.7	-5.4	-8.0	10	3.1	2.6
10	-7.318	28.887	-21.2	-19.0	-12.9	-12.1	30	-2.2	-0.8
15	2.995	46.153	-27.5	-23.3	-18.7	-16.3	50	-4.2	-2.4
18	13.033	62.975	-34.6	-27.6	-23.6	-20.4	70	-7.0	-3.2
23	22.97	80.278	-33.9	-31.9	-26.6	-24.5	90	-2.0	-2.1
26	32.923	97.417	-36.6	-36.2	-33.8	-28.7	110	-0.4	-5.1
31	43.671	114.537	-43.8	-40.5	-35.2	-32.8	130	-3.3	-2.4
34	53.814	131.635	-50.4	-44.8	-39.7	-36.9	150	-5.6	-2.8
39	63.607	149.208	-52.3	-49.0	-41.1	-41.0	170	-3.3	-0.1
42	74.043	166.028	-54.6	-53.3	-45.4	-45.2	190	-1.3	-0.2
47	83.621	183.813	-57.8	-59.8	-48.4	-51.4	220	2.0	3.0
49	87.404	188.348	-49.3	-60.9	-46.9	-52.4	225	11.6	5.5

Tabla 4-4

	P2							DIFERENCIAS	
punto	x	y	z/cm/A	y=-14.533-0.214x	z/cm/D	y=-6.173-0.2083x	Distancia	L-I(5CM)A	L-I(5CM)D
3	-41.459	8.688	-0.3	-14.5	1.6	-6.2	0	14.2	7.8
6	-35.084	21.042	-14	-16.7	-5.3	-8.3	10	2.7	3.0
11	-25.098	38.681	-25.4	-21.0	-13	-12.4	30	-4.4	-0.6
14	-14.989	55.719	-31.3	-25.3	-20.1	-16.6	50	-6.0	-3.5
19	-4.758	72.785	-28.1	-29.5	-23.8	-20.8	70	1.4	-3.0
22	5.482	90.113	-36	-33.8	-28.7	-24.9	90	-2.2	-3.8
27	15.273	107.339	-41.3	-38.1	-31.6	-29.1	110	-3.2	-2.5
30	25.887	124.14	-48.4	-42.4	-36.1	-33.3	130	-6.0	-2.8
35	36.244	141.347	-54	-46.7	-39.5	-37.4	150	-7.3	-2.1
38	45.84	158.9	-56.7	-51.0	-40.9	-41.6	170	-5.7	0.7
43	56.412	175.78	-54.9	-55.3	-46	-45.8	190	0.4	-0.2
46	65.704	193.594	-63.8	-61.7	-50.3	-52.0	220	-2.1	1.7
50	74.175	203.759	-44.7	-62.8	-47.6	-53.0	225	18.1	5.4

Tabla 4-5

	P2							DIFERENCIAS	
punto	x	y	z/cm/A	y=-8.2516-0.254x	z/cm/D	y=-4.5574-0.2345x	Distancia	L-I(5CM)A	L-I(5CM)D
4	-49.076	11.608	24.3	-8.3	4.1	-4.6	0	32.6	8.7
5	-44.574	26.054	-13.5	-10.8	-4.6	-6.9	10	-2.7	2.3
12	-35.56	44.009	-18.5	-15.9	-9.3	-11.6	30	-2.6	2.3
13	-26.118	61.439	-27.4	-21.0	-20.7	-16.3	50	-6.4	-4.4
20	-16.738	79.139	-38.2	-26.1	-24.5	-21.0	70	-12.1	-3.5
21	-6.96	96.59	-40.4	-31.1	-30.1	-25.7	90	-9.3	-4.4
28	3.2	114.045	-43.8	-36.2	-32.5	-30.4	110	-7.6	-2.1
29	12.917	131.407	-46.5	-41.3	-39.6	-35.0	130	-5.2	-4.6
36	22.384	149.018	-50.6	-46.4	-43.3	-39.7	150	-4.2	-3.6
37	31.936	166.678	-55.2	-51.5	-44.8	-44.4	170	-3.7	-0.4
44	41.545	184.07	-60.5	-56.6	-50	-49.1	190	-3.9	-0.9
45	51.408	201.671	-54	-64.2	-50.5	-56.1	220	10.2	5.6
51	60.27	215.127	-50.4	-65.5	-52.3	-57.3	225	15.1	5.0

Tabla 4-6

	PARCELA 3							DIFERENCIAS	
punto	x	y	z/cm/A	y=2.2373-0.2591x	z/cm/D	y=-11.026-0.2922x	Distancia	L-I(5CM)A	L-I(5CM)D
1	21.14	-4.43	7.7	2.2	-1.5	-11.0	0	5.5	9.5
6	30.4	10.04	1.8	-2.9	-15.1	-16.9	20	4.7	1.8
7	38.5	28.45	-11.2	-8.1	-23.8	-22.7	40	-3.1	-1.1
12	46.61	47.16	-22	-13.3	-33.1	-28.6	60	-8.7	-4.5
13	58.16	63.21	-18.7	-18.5	-40.1	-34.4	80	-0.2	-5.7
18	67.32	81.29	-24.2	-23.7	-43.4	-40.2	100	-0.5	-3.2
19	76.5	98.41	-23.8	-28.9	-49.4	-46.1	120	5.1	-3.3
24	86.24	116.2	-35.5	-34.0	-53.1	-51.9	140	-1.5	-1.2
25	94.32	134.6	-47.6	-39.2	-57.9	-57.8	160	-8.4	-0.1
30	102.2	153	-44.6	-44.4	-63.1	-63.6	180	-0.2	0.5
31	109.9	171.2	-51.6	-49.6	-69.1	-69.5	200	-2.0	0.4
36	116.3	185.7	-44.2	-53.5	-67.1	-73.8	215	9.3	6.7

Tabla 4-7

	PARCELA 3							DIFERENCIAS	
punto	X	y	z/cm/A	y=-2.8203-0.2714x	z/cm/D	y=-15.1542-0.269x	Distancia	L-I(5CM)A	L-I(5CM)D
2	15.96	-2.7	9.3	-2.8	-9.7	-15.2	0	12.1	5.5
5	22.62	14.04	-7.8	-8.2	-21.2	-20.5	20	0.4	-0.7
8	30.48	32.66	-15.6	-13.7	-26	-25.9	40	-1.9	-0.1
11	38.12	51.26	-21.1	-19.1	-32.4	-31.3	60	-2.0	-1.1
14	45.91	69.54	-29	-24.5	-39.2	-36.7	80	-4.5	-2.5
17	53.29	88.16	-31.9	-30.0	-43.1	-42.1	100	-1.9	-1.0
20	60.97	106.5	-39.6	-35.4	-48.7	-47.4	120	-4.2	-1.3
23	68.22	125	-47.5	-40.8	-54.3	-52.8	140	-6.7	-1.5
26	76.51	143.4	-47.1	-46.2	-59.9	-58.2	160	-0.9	-1.7
28	67.58	169.8	-60	-51.7	-65.7	-63.6	180	-8.3	-2.1
32	91.95	180.1	-55.7	-57.1	-68.7	-69.0	200	1.4	0.3
35	98.35	195	-44.7	-61.2	-66.7	-73.0	215	16.5	0.3

Tabla 4-8

	PARCELA 3							DIFERENCIAS	
punto	x	y	z/cm/A	y=-3.0985-0.2848x	z/cm/D	y=-14.1018-0.285x	Distancia	L-I(5CM)A	L-I(5CM)D
3	-0.91	3.58	5.1	-3.1	-1.5	-14.1	0	8.2	12.6
4	6.12	21.96	-8.2	-8.8	-22.9	-19.8	20	0.6	-3.1
9	14	40.43	-15.6	-14.5	-29.4	-25.5	40	-1.1	-3.9
10	21.53	58.92	-22.6	-20.2	-38.1	-31.2	60	-2.4	-6.9
15	29.1	77.6	-28	-25.9	-35.6	-36.9	80	-2.1	1.3
16	36.89	95.97	-35.4	-31.6	-46.6	-42.6	100	-3.8	-4.0
21	44.3	114.5	-38.4	-37.3	-49.1	-48.3	120	-1.1	-0.8
22	51.93	133.1	-45.4	-43.0	-54.4	-54.0	140	-2.4	-0.4
27	59.74	151.4	-54.3	-48.7	-60	-59.7	160	-5.6	-0.3
29	84.23	162	-52.8	-54.4	-64.9	-65.4	180	1.6	0.5
33	75.45	188.1	-62.8	-60.1	-68.8	-71.1	200	-2.7	2.3
34	80.72	201.7	-53.3	-64.3	-72.7	-75.4	215	11.0	2.7

Tabla 4-9

3) Evaluación del porcentaje de mejora.

PARCELA	nº de Puntos con[L-I(±5cm)]	Totales	Puntos(%)	Mejora
P1A	24	30	80	Parcela 1
P1D	30	30	100	20 %
P2A	24	51	47	Parcela 2
P2D	37	51	72.5	25.5 %
P3A	24	36	66.5	Parcela 3
P3D	29	36	80.5	14 %

Tabla 4-10

La mejora en todas las parcelas es evidente y aún podría hacerse alguna observación sobre todo en la situación de algunos puntos (algunos están en el límite de la parcela). En el anejo nº 5: Planos topográficos, sirve de complemento a este apartado.

Además de la mejora en la nivelación calculada anteriormente, se puede notar lo mismo con la observación de las curvas de nivel. En los planos de antes de la nivelación, la configuración de las curvas de nivel son de forma más irregular que cuando se ha ejecutado la mejora. En los perfiles longitudinales construidos a tal efecto, la observación de la pendiente resultante después de la nivelación es más uniforme.

Parece existir también relación entre la superficie de cada parcela y la mejora efectuada. La parcela 2 con una superficie de 1.174ha es la que el porcentaje de mejora es más alto (25.5) si se compara con las otras parcelas (parcela 1: 0.637ha, mejora 20% /parcela 3: 0.726ha, mejora 14%).

La anchura de la parcela 3, podría explicar la pequeña variación de los porcentajes explicados antes.

4.2) Variabilidad espacial

El estudio de la variabilidad espacial, se comento anteriormente en las referencias, y pronosticaron las principales vías de estudio de los suelos (Borrough, 1993, 1986).

El tratamiento geoestadístico de todos los puntos de las parcelas a diferentes profundidades será el objeto de estudio. La función semivariograma es la que puede aglutinar toda la variabilidad para cada profundidad.

Los parámetros que definen el semivariograma como se ha comentado en el apartado 3.3, son el efecto pepita que indica la variabilidad entre dos valores, tomados en puntos muy cercanos; el alcance que es la distancia a partir de la cual las variables aleatorias Z(x) y Z(x+h) no están correlacionadas; la meseta que es el valor de la semivarianza de la variable a validar y la distancia integral que nos indica el grado de correlación espacial de la variable.

Se ha añadido dos columnas a los datos iniciales establecidos, que son las medias (medida- estimada), calculadas en el krigeado y que nos manifiestan la bondad de los datos que le preceden.

El resumen de todas las parcelas y todos los elementos característicos del semivariograma se han recogido en los siguientes cuadros, en los que se ha preferido no incluir la unidad del semivariograma de acuerdo con diversos autores (Vieira et al., 1983).

PARCELA 1/ANTES NIVELACION:						
			(m)	DISTANCIA		
PROFUNDIDAD	PEPITA	MESETA	ALCANCE	INTEGRAL	MEDIDA	ESTIMADA
5	0.008	0.140	39	16.3	0.65	0.647
10	0.03	0.965	38	15.8	2.623	2.652
15	0.002	1.179	28	11.7	3.277	3.228
20	0.002	0.709	37	15.4	3.807	3.828
25	0.001	0.563	37	15.4	3.877	3.906
30	0.001	0.5	45	18.8	4.053	4.071
35	0.001	0.469	46	19.2	4.073	4.089
PARCELA 1/DESPUÉS NIVELACION:						
			(m)	DISTANCIA		
PROFUNDIDAD	PEPITA	MESETA	ALCANCE	INTEGRAL	MEDIDA	ESTIMADA
5	0.005	1.473	27	11.3	2.893	3
10	0.005	0.585	15	6.3	3.527	3.492
15	0.005	0.525	15	6.3	3.893	3.92
20	0.005	0.435	28	11.7	3.923	3.955
25	0.005	0.389	27	11.3	4.027	4.047
30	0.001	0.4	27	11.3	4.02	4.038

Tabla 4-11

PARCELA 2/ANTES NIVELACION:						
			(m)	DISTANCIA		
PROFUNDIDAD	PEPITA	MESETA	ALCANCE	INTEGRAL	MEDIDA	ESTIMADA
5	0.002	0.056	24	10.0	0.718	0.708
10	0.005	0.699	25	10.4	1.963	1.94
15	0.002	0.559	21	8.8	2.996	2.997
20	0.001	0.664	18	7.5	3.52	3.518
25	0.004	0.229	30	12.5	3.827	3.828
30	0.004	0.24	30	12.5	3.951	3.947
35	0.004	0.24	30	12.5	3.951	3.947
PARCELA 2/DESPUÉS NIVELACION:						
			(m)	DISTANCIA		
PROFUNDIDAD	PEPITA	MESETA	ALCANCE	INTEGRAL	MEDIDA	ESTIMADA
5	0.002	0.651	25	10.4	1.947	1.931
10	0.001	0.739	33	13.8	2.853	2.841
15	0.002	0.581	26	10.8	3.192	3.167
20	0.002	0.527	12	5.0	3.3	3.311
25	0.001	0.408	19	7.9	3.751	3.737
30	0.001	0.025	10	4.2	4.033	4.038

Tabla 4-12

PARCELA 3/ANTES NIVELACION:						
			(m)	DISTANCIA		
PROFUNDIDAD	PEPITA	MESETA	ALCANCE	INTEGRAL	MEDIDA	ESTIMADA
5	0.002	0.331	26	10.8	1.13	1.091
10	0.002	0.687	20	8.3	2.181	2.106
15	0.003	0.691	15	6.3	2.504	2.429
20	0.002	1.023	15	6.3	3.076	3.045
PARCELA 3/DESPUÉS NIVELACION:						
			(m)	DISTANCIA		
PROFUNDIDAD	PEPITA	MESETA	ALCANCE	INTEGRAL	MEDIDA	ESTIMADA
5	0.002	0.604	26	10.8	3.65	3.65
10	0.002	0.314	21	8.8	3.81	3.82
15	0.002	0.304	25	10.4	3.94	3.944
20	0.002	0.158	8	3.3	4.03	4.02

Tabla 4-13

En la discusión de los resultados anteriores se debe realizar en cada parcela.

Parcela 1/ Antes: Los resultados de la meseta son bastante significativos en todo el perfil. Se logra un máximo a los 15 cm de profundidad y luego tiende a uniformizarse en sucesivas profundidades. En cuanto al alcance a profundidad de 30/35cm, parece parece que la correlación de la variable se pueda considerar a mayor distancia (45/46m).

Figura 4-1

Parcela 1/ Después: La profundidad 5cm, en todos las parcelas y después de la nivelación, parece darnos un incremento notable. En este caso un poco alto (1.473), si se compara con las otras parcelas. Una vez producido este máximo en el perfil, vemos una uniformidad en todas las profundidades, no muy lejos en valor absoluto, de lo que fué en el perfil anterior. En este caso disminuye el alcance y se situa en 27 m.

Figura 4-2

Parcela 2/ Antes: Presenta una uniformidad creciente hasta llegar a 20cm, con la meseta en su valor más elevado (0.664) y luego estabilizarse (0.240).

Figura 4-3

Parcela 2/ Después: La profundidad a 5 y 10 cm presenta el valor máximo de la meseta, y luego se estabiliza hasta alcanzar valores parecidos a su perfil original.

Figura 4-4

Parcela 3/ Antes: Presenta las mismas características que las parcelas anteriores. A modo gráfico se puede ver en los siguientes perfiles: la variación de la meseta, que es una estimación de la varianza con respecto a la profundidad.

Figura 4-5

Figura 4-6

Se puede atribuir la forma de los diferentes perfiles a la actividad radical en el suelo modificando el espacio poroso, y con él, la resistencia. Después de la compactación se homogeneiza más el perfil, excepto la parte más somera, en torno a los 5 cm, debido posiblemente a la redistribución del suelo más intensa en estos niveles.

El efecto pepita no parece muy importante en cualquier caso, como cabría esperar, ya que es atribuible al error experimental que se ha reducido considerablemente.

En cuanto al alcance, este parámetro parece disminuir en profundidad, especialmente

tras la nivelación, lo que indica una mayor homogeneización del suelo, ya observada antes. Sin embargo en la parcela 1 el alcance que es mayor, en nivel absoluto que las de las otras parcelas, aumenta en profundidad antes de la nivelación y se mantiene con valores elevados tras la nivelación. La presencia de cantidades notables de arcilla en la parcela 1, superiores al 30 %, lo que en algunos sistemas taxonómicos marca el carácter vértico (p. ej. Soil Taxonomy, Cap. 7), puede justificar una mayor variación de las propiedades del suelo como la agregación de partículas que se refleja en la resistencia a la penetración. La nivelación reduce esta variación. En cuanto a la distancia integral varía de forma similar.

4.3) Variación de los perfiles del suelo

La variación de los diferentes perfiles del suelo se presentará en secciones de suelo en forma longitudinal y transversal. Abarcará cada parcela en particular y la disposición de los puntos es la misma que se ha seguido en nivelación (ver los planos topográficos de cada parcela en anejo nº 5), para que dichos perfiles puedan tener suficiente autonomía por si solos.

El conjunto de resultados se ha recogido en el anejo nº2 (Perfiles de los suelos): El orden que se ha establecido en los perfiles es el siguiente:

*Parcela (1-2-3)/Antes nivelación /Perfiles longitudinales.
*Parcela (1-2-3)/Antes nivelación /Perfiles transversales.
*Parcela (1-2-3)/Antes nivelación /Perfiles longitudinales/krigeado.
*Parcela (1-2-3)/Antes nivelación /Perfiles transversales/krigeado.
*Parcela (1-2-3)/Después nivelación /Perfiles longitudinales.
*Parcela (1-2-3)/Después nivelación /Perfiles transversales.
*Parcela (1-2-3)/Después nivelación /Perfiles longitudinales/krigeado.
*Parcela (1-2-3)/Después nivelación /Perfiles transversales/krigeado.

En la leyenda aneja a cada perfil se puede observar un color característico de la fuerza de compactación medida en MPa a determinadas profundidades, simulando de alguna manera los colores de un suelo determinado, pero sin que ello pueda atribuir ninguna correspondencia al respecto.

En cuanto a la discusión de los datos representados gráficamente comentar:

*El efecto más inmediato de la nivelación es el aumento de la resistencia a la penetración en las tres parcelas, especialmente en los horizontes superiores puesto que la transmisión de esfuerzos en profundidad se atenua de acuerdo con la ecuación de Boussinesq (p.ej. Chancellor, 1976). En algunos puntos, especialmente en la parcela 3, se han alcanzado niveles de compactación que pueden mermar la producción agrícola (p. ej. Dexter, 1987).

*Los suelos secos tienen mayor resistencia a la compactación que los suelos húmedos. Se requiere un mayor esfuerzo para un suelo seco a una porosidad dada, que para comprimir un suelo húmedo con la misma porosidad (Chancellor, 1976).

*Por los diferentes contenidos en arcilla desde alrededor de un 16% en la parcela 2, a un 38% en la parcela 1, pasando por un 22% en la parcela 3, parece que la parcela 1, sería la más vulnerable a la compactación. Sin embargo, por la diferente humedad en el momento de la nivelación (Vease por ejemplo la figura 6 de Larson et al., 1980) y observando el anejo climatológico (nº 1), recibió en torno a 79mm de precipitación antes de efectuar la operación, y se puede observar como se acentua la compactación del perfil (ver perfiles longitudinales y transversales de la parcela 3, anejo nº2).Ello concuerda con las observaciones de numerosos autores (p.ej. Larson y col, 1980; Cancellor, 1976 párrafo IV).

Es por eso interesante reconocer conjuntamente las condiciones texturales y la

humedad del suelo en el perfil o al menos en superficie antes de nivelar, por si se puede reducir el posterior tratamiento para aliviar su efecto. Por encima de un umbral de un 33% de arcilla los efectos de la textura son mucho menores (Mitchell,1976, pag. 171).

*También puede haber un desplazamiento de zonas de mayor compactación y a veces en algunos perfiles invertirse. Esto es notorio en la parcela 3, que pudiera atribuirse a diferencias en las condiciones iniciales.

La parcela 1, quizás por su contenido en arcilla, parece más compactada o al menos presenta una mayor resistencia a la penetración en los horizontes más profundos, de 15 cm hacia abajo. Los efectos de la nivelación son menores a estas profundidades. El perfil longitudinal de los puntos 3/30 puede estar influenciado por la proximidad del camino.

*No se ha observado trazas de suela de labor en ninguno de los perfiles medidos, lo que puede indicar que no se labra excesivamente el suelo, y que los cultivos mejoran las condiciones físicas del suelo.

* El krigeado parece interpolar los datos de forma más razonable y uniforme.

4.4) Variación de las propiedades del suelo

Una vez recopilados los datos sobe las propiedades físicas del suelo en las parcelas de experimentación, se puede observar que no ha habido cambios significativos en las parcelas antes y después de la nivelación.

Para probar si los datos de los análisis tienen alguna relación entre ellos y la parcela donde se han recogido, se aplica el método estadístico de las componentes principales.

A nivel de ordenación y clasificación de datos en edafología y en otras ramas de la ciencia, se ha usado este método de análisis, ya que ha resultado uno de los más valiosos para la exploración de los datos del perfil de un suelo. El análisis encuentra los ejes principales de una configuración multidimensional y determina las coordenadas de cada uno, relativo a estos ejes (Webster et al.,1990; Burrough,1994).

Para ello se parte de una matriz en las que las variables pueden ser heterogéneas en cuanto a las medias, pero igualmente lo pueden ser en cuanto a la dispersión (las escalas de medida pueden ser diferentes: centímetros, kilogramos, etc,.) y la comparación de las medidas de dos variables no tener mucho sentido. Este análisis multivariante, condensa toda la información esencial contenida en las diferentes variables interdependientes en un número más reducido de variables, denominadas componentes principales (Lebart et al, 1985).

El método consiste en transformar las variables x1,...,,xp en nuevas variables y1...,.,yp con las siguientes propiedades:

1)Cada variable resultante "y" es combinación lineal de las "x".

2)La suma de los cuadrados de los coeficientes es la unidad.

3)De todas las posibles combinaciones, y1 tiene la varianza mayor.

4)De todas las posibles combinaciones, si y1 no está correlacionado, y2 tendrá la varianza mayor. El objetivo del método es poder explicar la variabilidad de los datos originales, con la varianza de las primeras componentes principales, y poder reducir de un modo razonable las variables iniciales (Marriott, 1974).

Las componentes principales no son nada más que los autovectores de la varianza de una matriz. Por si mismos ellos pueden darnos un conocimiento importante en la estructura de la matriz, y pueden interpretarse como factores. Todos los análisis factoriales modernos pueden emplear este método para su interpretación (Davis, 1973). Este mismo autor ha confeccionado un programa (PCA) donde a partir de los datos suministrados (análisis de suelo) nos determina:

*matriz de correlación.
*autovalores.
*autovectores.
*coordenadas.

Para el análisis estadístico de las componentes principales, se han elegido las siguientes variables (ver lista de abreviaturas al principio):

PARCELAS	M.0	Arena	L.G.	L.F.	Ac	D.ap	h%	CO3Ca	h1/3bar	h15bar
P1/A(5)	3	3	6.2	53	37.8	1.22	2	40	30	14
P1/A(17)	2.9	3.7	5.1	50.9	40.3	1.15	2	40	28	14
P1/D(5)	2.9	2.4	6.4	54.9	36.3	1.25	2	40	29	14
P1/D(17)	3	4.5	5.4	50.6	39.5	1.29	2	42	29	14
P2/A	1.7	55.2	10.3	19	15.5	1.33	1	25	15	6
P2/D	1.6	59.7	10.1	13.1	17.1	1.37	1	25	16	6
P3/A	2.4	44.2	14.3	19.4	21.1	1.29	1	33	20	10
P3/D	2.4	46.3	12.5	17	24.2	1.41	1	35	20	10

Tabla 4-14

El orden propuesto no significa desarrollos diferentes en cuanto a resultados, porque en la tabla de autovectores cada una de las variables es combinación lineal de las otras.

MATRIZ DE CORRELACION

	M.O	A	LG	L.F	Ac	D.Ap	h	CO3Ca	h1/3b	h15 bar
M.O	1.00									
A	-.94	1.00								
L.G	-.62	.84	1.00							
L.F	.88	-.99	-.89	1.00						
Ac	.94	-.98	-.83	.95	1.00					
D.Ap	-.67	.79	.69	-.80	-.74	1.00				
h	.86	-.98	-.92	.99	.96	-.79	1.00			
CO3Ca.	99	-.93	-.63	.87	.95	-.61	.86	1.00		
h1/3bar.	96	-.99	-.78	.96	.98	-.73	.96	.96	1.00	
h15bar	.99	-.96	-.69	.92	.97	-.71	.90	.99	.98	1.00

Tabla 4-15. MATRIZ DE CORRELACION

En esta matriz se observa la buena correlación entre las diferentes variables (señaladas en rojo). El Limo Fino (L.F) tiene muy buena correlación con la humedad (0.99).

Los autovalores (valores propios) asociados a cada una de las componentes y los porcentajes calculados, nos indican como las dos primeras componentes explican el 95.8% de la variación total.

AUTOVALORES

M.O	8.91388	.89139	.89139
A	.67447	.06745	.95884
L.G	.34946	.03495	.99378
L.F	.04824	.00482	.99860
Ac	.01039	.00104	.99964
D.Ap	.00297	.00030	.99994
h	.00059	.00006	1.00000
CO3Ca	.00000	.00000	1.00000
H1/3bar	.00000	.00000	1.00000
h15bar	.00000	.00000	1.00000

Tabla 4-16. AUTOVALORES

AUTOVECTORES

M.O	0.32	0.38	-0.11	0	-0.21	-0.75	0	-0.29	-0.22	0.01
ARENA	-0.33	0.02	-0.02	-0.25	0.18	-0.12	-0.02	0.39	-0.7	0.35
L.G	-0.28	0.57	-0.48	0.34	0.12	0.21	-0.18	0.07	-0.11	-0.37
L.F	0.33	-0.17	0.08	0.57	-0.38	0.06	0.29	0.45	-0.3	-0.12
Ac	0.33	0.05	0.11	-0.54	0.16	0.11	0.17	0.13	-0.21	-0.68
D.Ap	-0.27	0.43	0.84	0.16	-0.01	0.03	0.04	-0.08	-0.04	-0.08
h%	0.33	-0.21	0.17	0.19	0.17	0.16	-0.74	-0.23	-0.35	-0.04
CO3Ca	0.31	0.41	0.03	-0.28	-0.31	0.16	-0.38	0.48	0.27	0.28
h1/3bar	0.33	0.13	0.06	0.25	0.78	-0.2	0.13	0.27	0.22	0.15
h15bar	0.32	0.29	-0.09	-0.04	0.04	0.52	0.38	-0.41	-0.25	0.39

Tabla 4-17. AUTOVECTORES

Se puede comprobar que el producto escalar de dos autovectores (M.O x ARENA) tiene que ser igual a cero:

(0.32 x (-0.33))+ (0.38 x (0.02))+ (-0.11 x (-0.02))+ (0 x (-0.25))+ (-0.21 x (0.18))+ (0.75 x (-0.12))+ (0 x (-0.02))+ (-0.29 x (0.39))+ (-0.22 x (-0.70))+ (0.01 x (0.35)) = 0.0008

Lo mismo con el producto de los autovectores (Ac x D.ap):

(0.33 x (-0.27))+ (0.05 x (0.43))+ (0.11 x (0.84))+ (-0.54 x (0.16))+ (0.16 x (-0.01))+ (0.11 x 0.03)+ (0.17 x (0.04))+ (0.13 x (-0.08))+ (-0.21 x (-0.04))+ (-0.68 x (-0.08)) = - 0.0007

El módulo de cada autovector tiene que ser la unidad:

M.O: $(0.32^2) + (0.38^2) + (-0.11^2) + (0^2) + (-0.21^2) + (0.75^2) + (0^2) + (-0.29^2) + (-0.22^2) + (0.01^2) = 0.998$

Arena: $(-0.33^2) + (0.02^2) + (-0.02^2) + (0.25^2) + (0.18^2) + (-0.12^2) + (0.02^2) + (-0.39^2) + (-0.70^2) + (0.35^2) = 0.984$

COORDENADAS

	M.O	A	L.G	L.F	Ac	D.Ap	h	CO3Ca	h 1/3b h13 bar	
P1A/5	2.78	-0.09	-0.09	0.15	0.12	-0.09	0.02	0.00	0.00	0.00
P1A/17	2.96	-0.71	-0.62	-0.37	-0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
P1D/5	2.55	-0.01	0.19	0.33	-0.03	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00
P1D/17	2.65	0.28	0.73	-0.08	-0.05	-0.03	-0.04	0.00	0.00	0.00
P2A	-3.41	-0.96	-0.02	0.13	-0.16	-0.04	0.01	0.00	0.00	0.00
P2D	-3.63	-0.76	0.43	-0.08	0.16	0.04	-0.01	0.00	0.00	0.00
P3A	-1.89	0.88	-1.06	0.10	0.02	0.00	-0.03	0.00	0.00	0.00
P3D	-2.01	1.37	0.43	-0.18	-0.04	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00

Tabla 4-18. COORDENADAS

La representación radial de estas coordenadas nos dá una buena significación, en cuanto a la posible dispersión de los resultados.

Figura 4-7

Analizando las coordenadas calculadas, y tomando las variables de dos en dos, se podrá observar, si hay diferencias notables entre las parcelas antes y después de la nivelación. En el transcurso de todos los esquemas se puede notar, la agrupación en torno a cada parcela, y a veces la proximidad en la abcisa horizontal.

Figura 4-8

Figura 4-9

Figura 4-10

Figura 4-11

Todo parece indicar, que entre todas las variables analizadas, el último esquema es el que más se acerca a lo que tiene que ser el análisis de las componentes principales. En las tres parcelas, y en las fases anterior y posterior de la nivelación, se puede notar este acercamiento al eje de abcisas.

Estos resultados resaltan algunas causas del diferente comportamiento de las tres parcelas, como la presencia de materia orgánica en concentraciones notablemente diferentes, lo que refleja sin duda el diferente sistema de manejo del suelo.

Si no hubiese sido por la frecuente aportación de enmiendas orgánicas, la resistencia a la penetración de la parcela 1 en superficie hubiese sido mayor antes y después de la nivelación. Esto puede servir de orientación para recomendar los sitemas de manejo más adecuado para los suelos de la zona regable de l'Urgell. Es de destacar también que por encima de los resultados numéricos, las diferencias entre las concentraciones de materia orgánica, son más importantes que las diferencias entre otros parámetros como la concentración de limo fino. Rawls y col (1983) señalan la gran importancia de incrementos de materia orgánica bastante menores. Otras diferencias, como el contenido en carbonatos quedan enmascaradas por la importancia de la materia orgánica, si bien ésta es más susceptible de cambio por manipulación del suelo que la primera.

Se puede resumir este análisis con la relevancia de la materia orgánica y el contenido de arena como indicadores de las características del suelo que han de ser observadas para aconsejar sobre su uso.

5) Conclusiones y recomendaciones

En este estudio se han destacado las consecuencias de la nivelación periódica de los suelos de una importante zona de riego, que si bien es necesaria para asegurar un manejo adecuado del agua pudieran afectar a las propiedades de los mismos.

Tras analizar los resultados cabe concluir:

1) En la nivelación con el sistema de radiación laser, se observa una mejor eficiencia de la operación a medida que aumenta el tamaño de la parcela. En fincas de gran extensión hay mayor garantía de riegos uniformes. Es preciso pues incrementar las precauciones en parcelas pequeñas, especialmente si son estrechas, lo que obliga a un número excesivo de pases. Cualquier repetición innecesaria por encima de un mismo punto puede traducirse en un incremento de la compactación.

2) Las características físicas del suelo, estimadas por la resistencia a la penetración muestran una distribución espacial similar. La aplicación de los métodos geoestadísticos o de interpolación óptima, dan resultados razonables y consistentes, para los diferentes perfiles registrados.

El semivariograma esférico sirve para caracterizar la estructura de la variación espacial. La meseta del semivarigrama indica en casi todas las profundidades, que la varianza se reduce, como prueba de la homogeneización que supone la nivelación. El alcance disminuye en profundidad como posible consecuencia, también, de la homogeneización del suelo.

Esta técnica puede ser utilizada para posteriores análisis de las propiedades de los suelos de la zona.

3) La compactación producida por la nivelación es apreciable, como se deduce por la resistencia a la penetración en los horizontes superficiales (0-10 cm) de los suelos, siendo menor en horizontes más profundos.

La concentración de arcilla y la humedad del suelo son las principales características que influyen en la compactación, por lo que es conveniente aconsejar la operación en condiciones adecuadas, poca humedad a medida que el contenido en arcilla aumenta para la nivelación, sin que haya que remediar posteriormente sus consecuencias con la grada de discos.

En los contornos de las parcelas se observa una mayor compactación debido posiblemente a los efectos de borde, como una menor influencia de las labores.

4) Entre las características más relevantes del suelo es preciso incluir el contenido de la materia orgánica como muestra el análisis de componentes principales.

Estas características: materia orgánica, arcilla, arena o humedad del suelo han de ser utilizadas para aconsejar los mejores sistemas de manejo del suelo.

5) El penetrómetro y la interpolación óptima son métodos de gran utilidad para reconocer el comportamiento agronómico de los suelos.

6) Referencias bibliográficas

A.S.A.E. 1986.
Soil cone penetrometer.

A.S.A.E. Standard: ASAE S313.2.
ASAE Standards,p.466.

Agüera, J., 1991
Ensayos de resistencia a la penetración en suelos agrícolas.
Máquinas y tractores agrícolas. nº 4, abril 1991.

Agüera,J. 1986
Diseño y aplicación de un penetrómetro registrador de precisición para la determinación de la compactación en suelos agrícolas.
Tesis doctoral.E.T.S.I.Agrónomos. Córdoba.

Aldomá, I., Pujadas, R.,1993
El Pla d'Urgell. Dinamisme agroalimentari i diversificació industrial i terciària.
Ed. Moderm. Publi, s.l. Barcelona

Arvidsson,J.and Hakansson,I., 1991.
A model for estimating crop yield losses caused by soil compaction.
Soil Tillage Res.,20:319-332.

Barley, K.P., Farrell, D.A and Greacen, E.L., 1965
The influence of soil strength on the penetration of a loam by plant roots.
Aust.J.Soil Res. 3, 69-79

Billot,J.F.,1989
Pénétrométrie, choix des outils et dates d travail du sol.
Land and Water Use, Dood&Grace (eds) Balkema.Rotterdam.ISBN 90 6191 980 0

Boixadera,J., Danés, R., Herrero,C., i Villar,J.M.,1993
Mapa de sòls de Catalunya 1: 25 000, Full núm: 360-1-2 (65-28) Bellvis
Institut Cartográfic de Catalunya. Barcelona

Boixadera,J.,Herrero,C., Danés, R.i Villar,J.M.,1989
Cartografía dels sòls de l'Área Regable dels Canals d'Urgell.
Ed. Draft. DARP. Barcelona

Burrough, P.A., 1986
Principles of geographical information system for land resources assessment.
Methods of spatial interpolation. 148-165. Clarendon Press. Oxford. U.K.

Burrough, P.A., 1993
Soil variability: a late 20th century view.
Soil and Fertilizers, 56 (5): 529-562

Calvet, J. 1977
Contribución al conocimiento geomorfológico de la Depresión Central Catalana.
Tesis doctoral. Facultad de Geología. Universitat de Barcelona.

Carslaw,H.S, Jaeger,J.C., 1959
Conduction of Heat in Solids,pp: 358/359
2ªedición. Oxford University Press.

Carter,L.M., 1985
Wheel traffic is costly.
Transactions of A.S.A.E., november: 430-434

Cassan, M., 1982
Los ensayos "in situ" en la mecánica del suelo. Tomo I, pag. 124-128. Ed. Técnicos Asociados, s.a. Barcelona

Cassel, D.K., and Nelson,L.A. 1979.
Variability of mechanical impedance in a tilled one-hectare field of Norfolk sandy loam.
Soil Sci.Soc.Am.J. 43:450-455.

Chancellor,W.S.,1976
Compaction of Soil by Agricultural Equipment.
University of California. Division of Agricultural Sciences. Bull. 1881, cap.IV

Comisión de Métodos Oficiales de Análisis de Suelos y Aguas.,1975
Métodos Oficiales de Análisis. MAPA. Madrid

C.R.C.U,1990
Compendio de datos históricos y Técnicos del Canal de Urgel. (C.R.C.U:Comunidad de Regantes de los Canales de Urgel). Publicación interna.

Culling, W.E.H., 1981.
New methods of measurement of slow particulate transport processes on hillside slopes.
Erosion and Sediment Transport Measurement (procedings of the Florence Symposium, June 1981).IAHS Publ.no.133

Culling, W.E.H., 1983.
Steady state distributions in the measurement of soil creep.
Geographical Analysis, 15 (3)

Culling, W.E.H., 1985.
Estimation of the mean velocity of particulate flows by counting.
Earth Surface Processes and Landforms, 10:569-585

Culling, W.E.H., 1988.
A unified theory of particulate flows in geomorphic sttings.
Earth Surface Processes and Landforms, 13:431-440

Davis, J.C., 1973
Statics and Data Analysis in Geology
John Willey &Sons INC.

Dedrick, A.R., 1979.
Land leveling, precision attained with laser controlled drag scrapers.
Meeting ASAE (December 11-14, 1979) paper no: 79-2567

Dedrick, A.R., Erie, L.J., Clemmens, A.J., (1982)
Level-basin irrigation,Advances in irrigation, vol 1, 112-118
Academic Press Edited By Daniel Hillel USA

Dexter, A.R., 1987
Mechanics of rootgrowth.
Pl. Soil, 98:303-312

De León, A.,1989
Caracterización agroclimáticas de la provincia de Lérida. MAPA. Madrid

Domínguez Garcia, F. 1989
Topografía General y Aplicada, 10º edición, Dossat. Madrid

Doty, C.W., Parsons, J.E., Skaggs, R.W., 1987
Irrigation water supplied by stream water level control.
Transactions of the A.S.A.E. 30 (4):1065-1070

Englud, E., Sparks, A., 1988
GEO-EAS. Geoestatical Enviromental Assessment Software. User's Guide.
Enviromental Monitoring Systems Laboratory office of research and development. U.S. Enviromental Protection Agency. Las Vegas. USA

Erbach,D.C.Kinneyy,G.R. Wilcox,A.P and Abo-Abda,A.E. 1991
Strain gage to measure soil compaction.
Transactions of A.S.A.E.,34 (6):2345-2348

Faci,J., 1987
Empleo de la nivelación con rayo laser para la mejora del riego por inundación.
Informaciones técnicas del Departamento de Agricultura, Ganaderia y Montes de la D.G.Aragón

Farrell,D.A. and Greacen,E.L. 1966.
Resistance to penetration of fine probes in compressible soil.
Aust.J.Soil Res.,4:1-17.

Ferrer, R., Piña, B., 1991
Metodologías Topográficas.
Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria. ISBN 84 86928-55-9. Santander

Flavell,W.S., 1986
Field investigation of soil movement. adifferent approach.
Z. Geomorph.N.F. suppd.-Bd 60 (83-91)

Folerunso,O.A., Puente, C.E., Rolston, D.E., Pinzón, J.E., 1994
Statistical and fractal evaluation of the spatial characteristics of soil surface strength.
Soil Sci. Soc. Am. J. 58:284-294

Fritton, D.D., 1990
A standard for interpreting soil penetrometer measurements.
Soil Science, 150 (2)

Frohlich,D.P.and Ellwein P.G.1990
Relationships between Parameters of Combine Desing and Soil Compaction.
Transactions of A.S.A.E.,33 (6):1439-1444

Generalitat de Catalunya,1981
Marc per al Plà d'aigues. Departament de Política Territorial i Obres Públiques. Barcelona

Generalitat de Catalunya,1988
Ortofotomapes escala 1/5000. Departament de Política Territorial i Obres Públiques. Barcelona

Generalitat de Catalunya,1981
Estudi d'alternatives de regulació del riu Segre per a regadius. Direcció General d'Obres Hidràuliques. Departament de Política Territorial i Obres Públiques. Barcelona

Generalitat de Catalunya,1993
Dades climàtiques de Mollerussa. Servei de Protecció dels Vegetals.DARP. Lleida

Govers, G., Vandaele, K., Desmet, P., Poesen, J., Bunte, K., 1994.
The role of tillage in soil redistribution on hillslopes.
European Journal of Soil Science. 45 (000-000)

Gracen, E.L., Farrell, D.A., Cockroft,B. (1967)
Soil resistence to metal probes and plant roots.
C.S.I.R.O., Division of soils, Adelaida.

Grant,C.D.,Kay,B.D.,Groenevelt,P.H., Kidd,G.E. and Thurtell,G.W. 1985.
Spectral analysis of micropenetrometer data to characterize soil structure.
Can.Am.J. 43:758-764.

Grupo de trabajo de Suelos y Aguas de Riego.,1994
Métodos Oficiales de Análisis: Suelos y Aguas de Riego. Madrid.

Gupta,S.C., and Larson,W.E. 1979.
A model for predicting packing density of soils using particle-size distribution.

Soil Sci.Soc.Am.J. 43:758-764.

Håkansson, I., Danfors, B., 1988
The economic consequences of soil compaction by heavy vehicles when spreading manure municipal waste.Seminar on: storing, handling and spreading of manure and municipal waste. UPPSALA, SWEDEN,September 20-22

Håkansson,I. 1990.
Soil compaction control,objectives,possibilities and prospects.
Soil Technology,3:231-239

Håkansson,I. 1990.
A method for characterizing the state of compactness of the plough layer.
Soil Tillage Res.,16:105-120

Håkansson,I. Voorhees,W.B. and Riley,H. 1988.
Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop reponse in different traffic regimes.
Soil Tillage Res.,11:239-282.

Hartge,K.H.,Bohne,H.,Schrey,H.P. and Extra,H. 1985.
Penetrometer measurements for screening soil physical variability.
Soil Tillage Res., 5:343-350.

Jori,I.J., Soos,S., 1991
Means and methods to reduce soil compaction.
Hungarian Institute of Agricultural Engineering. Gödöllö

Journel, A.G, and Ch.J.Huijbregts,1978
Mining geostatistics. Academic Press, London

Larson, W.E., Gupta,S.C. and Useche,R.A., 1980
Compression of agricultural soils from eight orders.
Soil Sci. Soc. Am. J. 44:450-457

Lavoie,G., Gunjal K.and Raghavan, G.S.V., 1991
Soil Compaction, Machinery Selection, and Crop Planing.
Transactions of the A.S.A.E. 34 (1):2-7

Lebart,L., Morineau,A., Fènelon, J.P., 1985
Tratamiento Estadístico de datos. Marcombo. Boixareu Editores.

Liepiec,J., Hakansson,I.,Tarkiewicz,S. and Kossowski,J.,1991.
Soil physical properties and growth of spring barley as related to the degree of compactness of two soils.
Soil Tillage Res.,19:307-317.

Lindstrom, M.J., Nelson, W.W., Schumachter, T.W., 1992

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

Quantifying tillage erosion rates due to moldboard plowing.
Soil Tillage Res., 22, 91-98

Lorduy, E., Valdés, C., 1983
Nivelación perfecta de suelos con rayos laser.
Campo y mecánica.pag. 10, junio 1983

Manor,G.,Clark,R.L., Radcliffe,D.E.,1989
Horizontal penetrometer for trench walls.
Land and Water Use, Dodd & Grace (eds).ISBN 90 6191 980 0. Balkema. Rotterdam

Marriott, F.H.C., 1974
The Interpretation of Multiple Observations. (18-24)
Academic Press. INC. London

Matheron, G. 1971
The theory of regionalized variables and its applications.
Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique 5. Centre de Geostatistique, Fontainebleau, France.

Mitchell, J.K., 1976
Fundamentals of soil behaviour (pp:171)
J.Wiley. New York

Muñoz, P.J., 1993
Estudio de los ensayos de resistencia a la penetración: análisis de los factores de medida, relación con otras propiedades físicas. Evolución bajo distintos sistemas de manejo del suelo. Trabajo Profesional Fin de Carrera. E.T.S.I.A.Córdoba.

Nielsen, D.R.,J.W.Biggar, and K.T.Erth.,1973
Spatial variability of field-measured soil water properties.
Hildargia 42:215-259

Ojeda, J.L.,1984
Métodos Topográficos. I.G.N. Instituto Geográfico Nacional. Madrid

Okello,J.A.,1990.
Prediction of the force distribution betwen the soil and a wheel or track.
AFRC. Engineering Wrest Park, Silsoe, Belford MK45,4hs,UK

Oliver,M.A. and Webster,R. 1986.
Semi-variograms for modelling the spatial pattern of land form and soil properties.
Earth Surface Processes and Landforms. 11:491-504

Oskomi,K.E. and Voorhees,W.B. 1991.
Economic consequences of soil compaction.
Transactions of the A.S.A.E. 34 (6):2317-2323.

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

Pachuta,S., Kowalski,H., 1986.
El instrumento electrónico de laser en la determinación de precisión de lineas y planos, reciprocamente paralelas o perpendiculares.
XVIII International Congress of Surveyor. Toronto. Canadá.

Perumpral, J.V. 1987
Cone penetrometer aplications. A review.Transactions of A.S.A.E., 30 (4): 939-943

Rawls, W.J., Brakensiek, Soni,B., 1983
Agricultural management effects on soil processes
Trans. ASAE 26:1747-1757

Samper, F.J., Carrera, J. 1990
Geoestadística. Aplicaciones a la hidrología subterránea.
Centro Internacional de Métodos Numéricos en la Ingeniería. U.P.C. ISBN 84 404 6045 7. Barcelona.

Santos, A. 1984
Aplicaciones del rayo laser en replanteos. Topografía y Cartografia, vol 1, nº 5 pag 80-81
Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía. Madrid

Santos, A. 1989
Topografía y Replanteo.
Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía. Madrid

Sasano, N., 1989
Land leveling guided by laser machine control system.
MADA-TARC COOPERATIVE STUDY, September, 1989

Sasano,N., Abu Hassan,D., Ayob, K. 1988.
Land leveling guided by laser machine control system in Malasia.
Tropical agriculture Research Center (TARC), 22 (3): 242

Schwab, G.O.,Fangmeier, D.D., Elliot, W.J., Frevert, R.K.,1993.
Surface drainage and land forming (245-263).
Soil and water conservation engineering. 4th.ed. John Wiley &Sons, Inc. Canadá

Serreta, A., Playán, E., 1994
Métodos de interpolación de la altimetría para la generación de mallas topográficas regulares en parcelas de riego por superficie. Revista Geográfica, nº 2. Universidad de Zaragoza.

Sibbesen, E., Andersen, C.E., 1985.
Soil movement in long-term field experiments as a result of cultivations
Expl.agric. 21 (101-107)

Spruill,T.B., Candela, L., 1990
Two aprroaches to design of monitoring networs.
Ground Water, vol 28, nº3: 430-442

Soil Survey Staff, 1975
Soil Taxonomy. Agr.Hbk 436, SCS. Washington

Vieira,S.R. Hatfield,J.L.,Nielsen,D.R. and Biggar,J.W. 1983.
Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties.
Hilgardia (J.of Agric. science-California Agricultural experiment station).,51 (3):1-75

Vieira,S.R., Nielsen,D.R. and Biggar,J.W. 1981
Spatial Variability of field-measured infiltration rate. Soil.Sci.Soc.Am.J.45:1040-1048

Walker, W.R, Skogerboe, G.V., 1987
Surface Irrigation-Land leveling:178-191. Prentice-Hall, INC. New Jersey.

Warrick,A.W., Myers, D.E., Nielsen, D.R., 1986.
Geostatical methods applied to soil science.
American Society of Agronomy- Soil science Society of America Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods-Agronomy no.9 (2nd Edition)

Webster, R., Oliver, M.A., 1990
Statistical methods in soil and land resource survey.Spatial dependence. (213-240)
Oxford University press.

Referencias a Catálogos comerciales:

JOHN DEERE,1988
P.I.M. Tractor Jhon Deere 3650 S4. Jhon Deere Ibérica, S. A. Carretera de Toledo km.12.2, 289004 Getafe. Madrid.

LASERPLANE, 1987
Precision grade control systems for construction equipment. Spectra-Physics,5475 Kekkenburger Road, Dayton, Ohio. USA.

LASER BLADE, 1988
Ctra. San Jaime s/n. 43870. Amposta. Tarragona.

STIKOBA, 1988
Eijkelkamp. Agrisearch Equipment. Office addus Nijverheidsstraat,14, 6987EM.Giesbeeh. The Netherlands.

TOPCON, 1990
Estación Total Electrónica. TOPCON ESPAÑA.S.A. Frederic Mompou 5. S.Just Desvern. Barna.

BIBLIOTECA VIRTUAL MIGUEL DE CERVANTES

7) Anejos

Anejo nº 1) Datos climatológicos

En este anejo se pueden observar las variables meteorológicas que pudieron influir en los sondeos. La temperatura sólo se cita para comparar la temperatura media calculada en los dos meses (septiembre-octubre) con la serie de años de que se dispone (1935/80) (Observatorio-Mollerussa) (De León, 1989):

Mes	T. Media (ºC)	Precipitación (mm)
Septiembre	19.0 Total (mm):	22.0
Octubre	15.0 Total(mm):	18.0

Tabla 7-1

En cuanto a la precipitación media se destaca un incremento notable, en los dos meses en que se efectuaron las experiencias. Este incremento de precipitación afecta a la humedad del perfil del suelo, sin embargo la nivelación no puede efectuarse si el terreno no está en perfectas condiciones, respecto al grado de humedad.

El tiempo transcurrido entre los sondeos de la tercera parcela es de veinte-ocho días y la precipitación total recogida hasta el día 13/10/ fueron de 79mm, sin embargo en los análisis de suelo correspondientes realizados no se observa incremento de humedad alguno (1%).

	Fecha	T. Máxima (ºC)	T. Mínima (ºC)	T. Media (ºC)	Precipitación (mm)
	08/09/93	30.0	17.0	23.5	29.0
Parcela 1 Antes	14/09/93	24.0	12.0	18.0	
Parcela 1 Después	16/09/93	28.0	16.0		
Parcela 2 Antes	21/09/93	29.0	19.0	24.0	
	22/09/93	22.0	17.0	19.5	18.7
	23/09/93	15.0	12.0	13.5	29.8
Parcela 2 Después	27/09/93	21.0	8.0	14.5	
Parcela 3 Antes	29/09/93	22.0	12.0	17.0	9.8
	30/09/93	20.0	13.0	16.5	3.1
T. Media	Septiembre			14.2 Total (mm): 90.4	
	01/10/93	20.0	12.0	16.0	5.2
	04/10/93	26.0	12.0	19.0	0.5
	05/10/93	20.0	13.0	16.5	12.8
	08/10/93	19.0	11.0	15.0	0.7
	09/10/93	14.0	7.0	10.5	3.8
	11/10/93	27.0	12.0	19.5	0.1
	13/10/93	20.0	9.0	14.5	6.7
Parcela 3 Después	25/10/93	11.0	3.0	7.0	(tarde) 5.3
T. media	Octubre	18.8	8.6	13.7 Total (mm): 66.1	

Tabla 7-2

Anejo nº 2) Perfiles de los suelos

PARCELA 1

Figura 7-1 Figura 7-2 Figura 7-3
Figura 7-4 Figura 7-5 Figura 7-6
Figura 7-7 Figura 7-8 Figura 7-9
Figura 7-10 Figura 7-11 Figura 7-12

PARCELA 2

Figura 7-13 Figura 7-14 Figura 7-15

Figura 7-16 Figura 7-17 Figura 7-18
Figura 7-19 Figura 7-20 Figura 7-21
Figura 7-22 Figura 7-23 Figura 7-24

PARCELA 3

Figura 7-25 Figura 7-26 Figura 7-27
Figura 7-28 Figura 7-29 Figura 7-30
Figura 7-31 Figura 7-32 Figura 7-33
Figura 7-34 Figura 7-35 Figura 7-36
Figura 7-37 Figura 7-38 Figura 7-39
Figura 7-40

Anejo nº 3) Gráficos de geoestadística

PARCELA 1

Figura 7-41 Figura 7-42 Figura 7-43
Figura 7-44 Figura 7-45 Figura 7-46
Figura 7-47 Figura 7-48 Figura 7-49
Figura 7-50 Figura 7-51 Figura 7-52
Figura 7-53

PARCELA 2

Figura 7-54 Figura 7-55 Figura 7-56
Figura 7-57 Figura 7-58 Figura 7-59
Figura 7-60 Figura 7-61 Figura 7-62
Figura 7-63 Figura 7-64 Figura 7-65
Figura 7-66

PARCELA 3

Figura 7-67 Figura 7-68 Figura 7-69
Figura 7-70 Figura 7-71 Figura 7-72
Figura 7-73 Figura 7-74 Figura 7-75
Figura 7-76

Anejo nº 4) Puntos krigeados

PARCELA 1

Figura 7-77 Figura 7-78 Figura 7-79
Figura 7-80

PARCELA 2

Figura 7-81 Figura 7-82 Figura 7-83
Figura 7-84

PARCELA 3

Figura 7-85 Figura 7-86 Figura 7-87
Figura 7-88

Anejo nº 5) Planos topográficos

PARCELA 1

Figura 7-89 Figura 7-90 Figura 7-91
Figura 7-92 Figura 7-93 Figura 7-94

PARCELA 2

Figura 7-95 Figura 7-96 Figura 7-97
Figura 7-98 Figura 7-99 Figura 7-100
Figura 7-101 Figura 7-102

PARCELA 3

Figura 7-103 Figura 7-104 Figura 7-105
Figura 7-106 Figura 7-107 Figura 7-108

BIBLIOTECA VIRTUAL
MIGUEL DE CERVANTES