



**UNIVERSIDAD DE OVIEDO**

ESCUELA POLITÉCNICA DE MIERES

MÁSTER EN TELEDETECCIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN  
GEOGRÁFICA

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**APLICACIÓN DE TÉCNICAS  
GEOESTADÍSTICAS EN LA ESTIMACIÓN  
DE ÁREA BASIMÉTRICA**

**AUTORA: Miriam Menéndez Fernández**

**DIRECTOR: Pedro Álvarez Álvarez**

**JULIO, 2012**

**INDICE GENERAL**

<b>ABSTRACT</b> .....	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>2. OBJETIVO</b> .....	<b>5</b>
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	<b>6</b>
3.1.  ÁREA DE ESTUDIO .....	6
3.1.1.  LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	6
3.2.  MATERIAL EMPLEADO .....	7
3.2.1.  SOFTWARE .....	7
3.2.2.  DATOS.....	8
3.3.  MÉTODOS DE ANÁLISIS.....	9
3.3.1.  KRIGING .....	9
3.3.1.1.  SEMIVARIOGRAMAS .....	10
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>14</b>
4.1.  ANÁLISIS EXPLORATORIO DE LOS DATOS.....	14
4.1.1.  DATOS PARCELAS DE EUCALIPTO GLOBULUS .....	14
4.1.2.  DATOS PARCELAS MONTE SIERRA DE ARMAYÁN .....	17
4.2.  ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS DATOS.....	20
4.3.  RESULTADOS .....	20
4.3.1.  RESULTADOS PARA LAS PARCELAS DE EUCALIPTO DE GALICIA .....	20
4.3.1.1.  KRIGING ORDINARIO MÉTODO ESFÉRICO .....	20
4.3.1.2.  KRIGING ORDINARIO MÉTODO EXPONENCIAL .....	23
4.3.1.3.  KRIGING ORDINARIO MÉTODO GAUSSIANO .....	26
4.3.1.4.  KRIGING ORDINARIO MÉTODO LINEAL.....	29
4.3.2.  RESULTADOS PARA LAS PARCELAS MONTE SIERRA DE ARMAYÁN.....	32
4.3.2.1.  KRIGING ORDINARIO MÉTODO ESFÉRICO .....	32
4.3.2.2.  KRIGING ORDINARIO MÉTODO EXPONENCIAL .....	35
4.3.2.3.  KRIGING ORDINARIO MÉTODO GAUSSIANO .....	38
4.3.2.4.  KRIGING ORDINARIO MÉTODO LINEAL.....	41
4.4.  RESUMEN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	45
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	<b>47</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>48</b>

## **ABSTRACT**

This paper presents a study that aims to determine which modeling by Ordinary Kriging semivariograms is more appropriate to estimate the most probable value of basal area in two different study areas.

## **RESUMEN**

Este trabajo presenta un estudio que pretende determinar que modelamiento mediante semivariogramas de Kriging Ordinario es más adecuado para estimar el valor más probable de área basimétrica en dos zonas de estudio diferente.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Geoestadística es una manera de describir la continuidad espacial de cualquier fenómeno natural. Con ello llegamos a conocer la forma en la que varía cualquier variable continua en el espacio (patrón espacial) a una o varias escalas seleccionadas, a un nivel que permite cuantificar su variación en distintas direcciones del espacio.

La Geoestadística emplea funciones para modelar esta variación espacial, que son utilizadas posteriormente para interpolar en el espacio el valor de la variable en sitios no muestreados (Gallardo y Maestre, 2008).

Los métodos geoestadísticos, tanto por su carácter operativo como por la calidad de sus resultados, destacan entre los diversos métodos existentes de análisis de datos espaciales.

Los métodos de estimación, Krigeaje, o de simulación convencional facilitan la creación de cubiertas temáticas a partir de datos experimentales de distinta naturaleza, lo que lo conviene en una herramienta de gran importancia en la Gestión Forestal.

## **2. OBJETIVO**

El objetivo de este trabajo es realizar un estudio para determinar que modelamiento mediante semivariogramas dentro del método geoestadístico de Kriging Ordinario es más adecuado para estimar el valor más probable del atributo área basimétrica en puntos no experimentales de dos zonas muy distintas.

El área basimétrica es la suma, expresada generalmente en m<sup>2</sup>/ha, de las secciones normales, a una altura de 1,30 metros, de todos los árboles existentes en una hectárea de una masa.

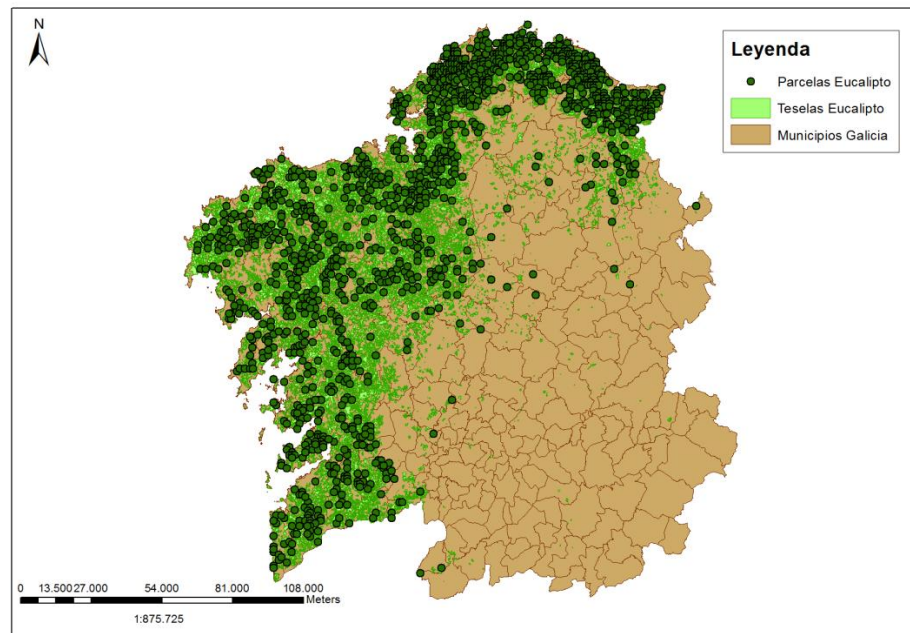
### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

#### 3.1. ÁREA DE ESTUDIO

##### 3.1.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

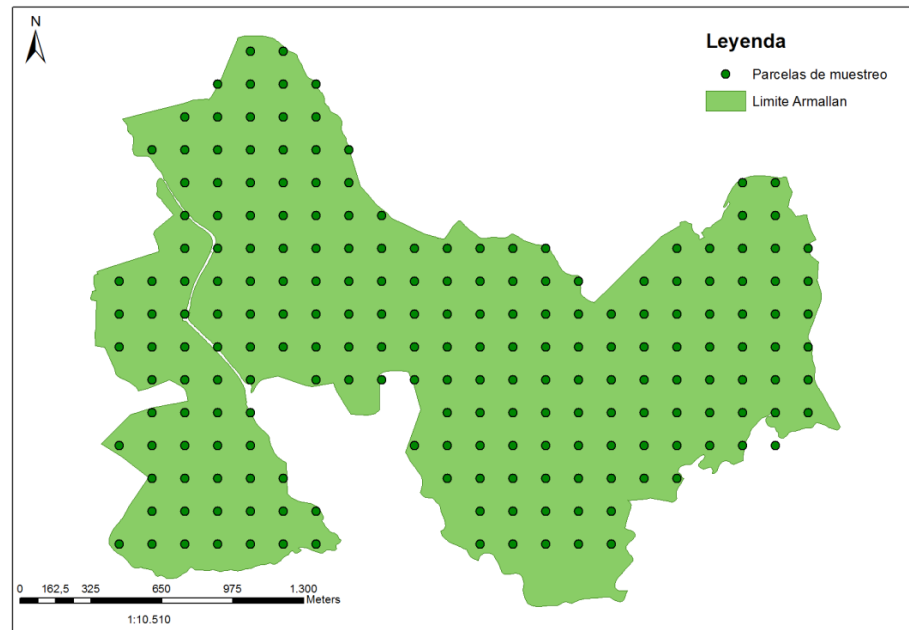
EL estudio Geoestadístico se ha llevado a cabo sobre dos áreas muy distintas;

Sobre un total de 1.381 parcelas de Eucalipto globulus (*Eucalyptus globulus*) repartidas de por la superficie de la Comunidad Autónoma de Galicia, los cuales se ven representados en la Figura 1.



*Figura 1.- Parcelas Eucalyptus globulus*

Y sobre un total de 206 parcelas en el monte Sierra de Armayán, situado en el concejo de Tineo, en el Principado de Asturias (Figura 2).



*Figura2.- Parcelas de muestreo monte Sierra de Armayán.*

## 3.2.MATERIAL EMPLEADO

### 3.2.1. SOFTWARE

La herramienta empleada para realizar el análisis geoestadístico ha sido “Geoestatistical Analyst” dentro del conjunto de softwares que componen ArcGis Desktop.

Geoestatistical Analyst es una extensión para ArcGis Desktop que provee una variedad de herramientas para la exploración de datos espaciales, identificación de datos anómalos, predicciones óptimas, evaluación de predicciones dudosas y creación de superficies.

Este módulo utiliza puntos de las muestras tomadas en diferentes localizaciones y crea (interpola) una superficie continua (Peña Llopis, 2006).

### 3.2.2. DATOS

Los datos de las parcelas de Eucalipto globulus han sido extraídos del Inventario Nacional Forestal Nº4 de la Comunidad Autónoma de Galicia.

El inventario forestal se realizó por muestreo. El diseño de muestreo se basa en la estratificación de las superficies forestales en función de sus características dasométricas, estructurales y botánicas o, en algunos casos, de condicionamientos geográficos o institucionales, tomando en este caso, siempre la provincia como unidad para los cálculos.

Cada estrato se forma por agrupación de superficies forestales (llamadas teselas, manchas, polígonos o recintos) de características similares, cuyo perímetro esté delimitado a la escala de trabajo (normalmente 1:25.000).

Se adoptaron para puntos de muestreo los vértices de la malla kilométrica de la cartografía UTM situados en el interior de las zonas clasificadas como arboladas. De esta manera se trata de un reparto de la muestra en los estratos, con afijación proporcional a la extensión de los mismos, un establecimiento sistemático de arranque aleatorio e intensidad de muestreo, generalmente, de una parcela por kilómetro cuadrado (100 hectáreas).

Los datos del monte Sierra de Armayán (Tineo) han sido facilitados por la Consejería del Medio Rural y Pesca del Gobierno del Principado de Asturias.

El inventario forestal se ha realizado sobre las especies de pino (*Pinus pinaster* y *Pinus radiata*) que existen en el monte, dejando aparte las frondosas.

El inventario forestal se realizó por muestreo, utilizando parcelas de radio variable, debido a que se fija el número de árboles a medir en cada punto, siendo este número de seis árboles maderables. Las parcelas se disponen en una maya de 150 metros, siguiendo las direcciones norte, sur este y oeste de la cuadrícula UTM. El radio ha sido una de las variables que se ha medido en cada parcela.



El diámetro mínimo inventariable ha sido de 7,5 centímetros. A los seis árboles de cada parcela se le han medido su diámetro normal, además de la altura de los dos árboles más separados del centro de la parcela, siguiendo la curva de nivel que pasa por el centro de la misma, y la altura dominante de la parcela, entendiendo como tal la que corresponde al árbol más grueso.

### 3.3.MÉTODOS DE ANÁLISIS

#### 3.3.1. KRIGING

Es un método de estimación geoestadístico que proporciona el “valor más probable” de un atributo en un punto no experimental.

Es un estimador lineal, insesgado y óptimo del que existe una gran variedad de métodos, cada uno de ellos adaptado a las diversas situaciones que se dan en los problemas de estimación (Chica-Olmo y Luque Espinar, 2002).

De entre los diversos Krigings, nos hemos centrado en el Kriging Ordinario, el cual es un Kriging lineal con valor esperado estacionario pero desconocido.

El Kriging Ordinario es un buen método cuando se desconoce el valor promedio de la media de la variable analizada, permitiendo generalizar el Kriging a situaciones donde esta medida no es constante en el tiempo.

Con el Kriging ordinario del valor de la variable regionalizada  $Z(s_0)$  en el punto  $s_0$  a partir de los valores que toma la variable en las parcelas de muestreo situadas en los puntos  $s_i$  viene dada por la fórmula;

$$p(Z, s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(s_i)$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

Dónde  $\lambda_i$  son los coeficientes para cada valor observado de la variable en el punto  $s_i$ , con la condición de que la suma de todos ellos sea igual a 1 para que la estimación no tenga sesgo.

El vector de cocientes  $\lambda$  en un punto se calcula minimizando el error medio cuadrático de la predicción:

$$E(Z(s_0) - \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(s_i))^2 - 2m(\sum_{i=1}^n \lambda_i - 1) = 1. Z^2(s_0) - 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(s_0) Z(s_i) +$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j Z(s_i) Z(s_j) + (-1 + 1) \sum_{i=1}^n \lambda_i^2 Z^2(s_i) - 2m(\sum_{i=1}^n \lambda_i - 1) = -$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i^2 Z^2(s_i) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j Z(s_i) Z(s_j) + (\sum_{i=1}^n \lambda_i) Z^2(s_0) - 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(s_i) +$$

$$(\sum_{i=1}^n \lambda_i) Z^2(s_i) - 2m(\sum_{i=1}^n \lambda_i - 1) =$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\lambda_i \lambda_j (Z(s_i) Z(s_j))^2}{2} 2 + 2 \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i (Z(s_0) - Z(s_i))^2}{2} - 2m(\sum_{i=1}^n \lambda_j - 1)$$

Asumiendo la existencia de variograma, la expresión anterior se puede escribir:

$$-\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(s_i - s_j) + 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(s_0 - s_i) - 2m(\sum_{i=1}^n \lambda_i - 1)$$

### 3.3.1.1. SEMIVARIOGRAMAS

El modelamiento con semivariogramas es un aspecto muy importante que determina qué modelo estadístico se ajusta mejor al comportamiento de los datos.

En la Figura 3 se pueden ver representados los distintos parámetros utilizados en el ajuste de semivariogramas.

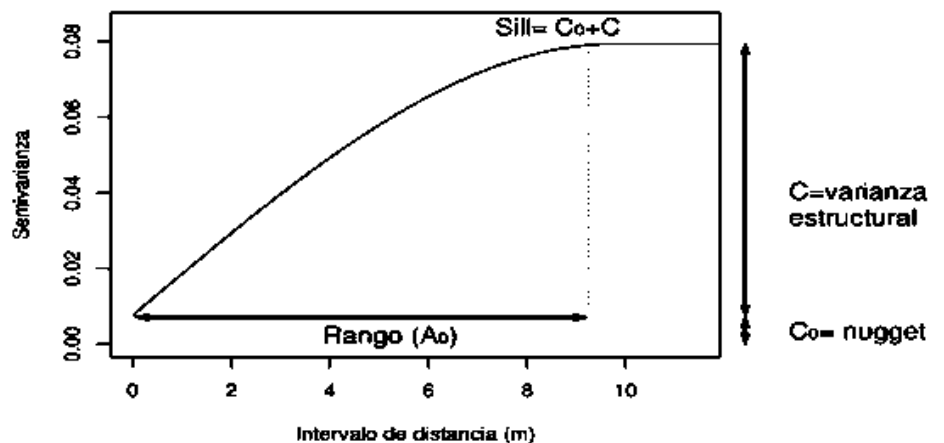


Figura 3.- Parámetros utilizados en el ajuste de semivariogramas.

Nosotros hemos empleado cuatro modelos diferentes cuyas ecuaciones son:

➤ **MODELO ESFÉRICO:**

$$\gamma(h) = \left\{ 1.5 * \frac{h}{a} - 0.5 * \left(\frac{h}{a}\right)^3 \right\} \text{ sth} \geq a$$

Dónde  $\gamma(h)$  es la semivarianza en el intervalo de distancia  $h$ , y  $a$  es el rango ( $A_0$ ). Este modelo tiene un comportamiento lineal a distancias de separación pequeñas, cerca del origen, pero se va aplanando a mayores distancias y alcanza el sill en la distancia  $a$  (Figura 4).

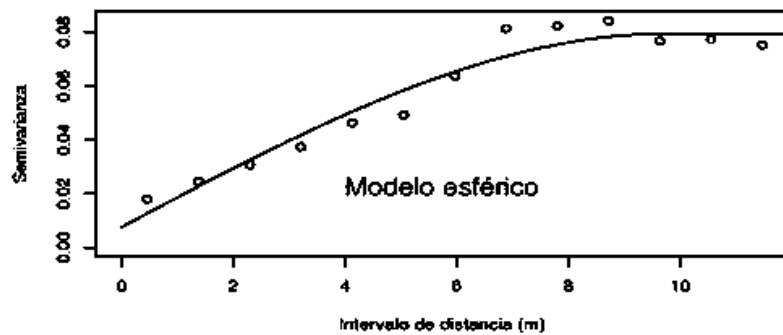


Figura 4.- Gráfica Modelo esférico.

➤ **MODELO EXPONENCIAL:**

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

Este modelo tiende a alcanzar en sill asintóticamente (Figura 5). El rango  $a$  es definido como la distancia a la cual el valor del variograma alcanza el 95% del sill.

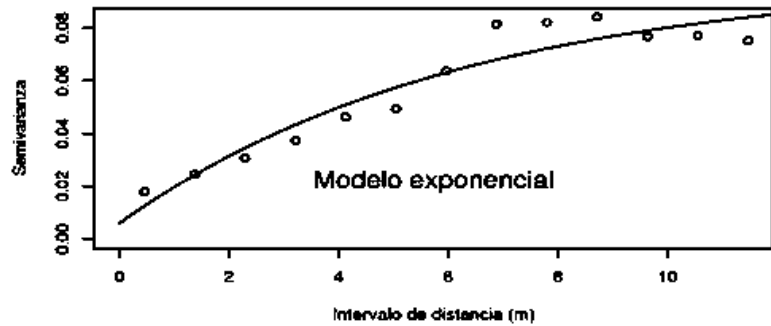


Figura 5.- Gráfica Modelo exponencial.

➤ **MODELO GAUSSIANO:**

$$\gamma(h) = 1 - \exp\left(\frac{-3h^2}{a^2}\right)$$

El modelo Gaussiano tiende a alcanzar, al igual que el exponencial, el sill asintóticamente, y el rango se define como la distancia a la cual el variograma alcanza el 95% del sill (Figura 6).

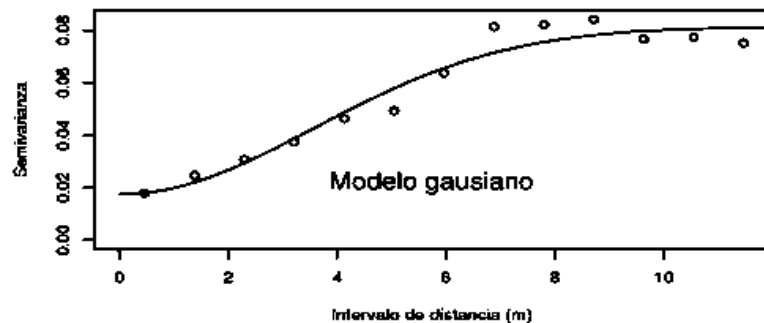


Figura 6.- Gráfica Modelo gaussiano.

➤ **MODELO LINEAL:**

$$\gamma(h) = C_0 + bh$$

Dónde  $C_0$  es el nugget y  $b$  la pendiente de la recta (A.Gallardo, 2006)

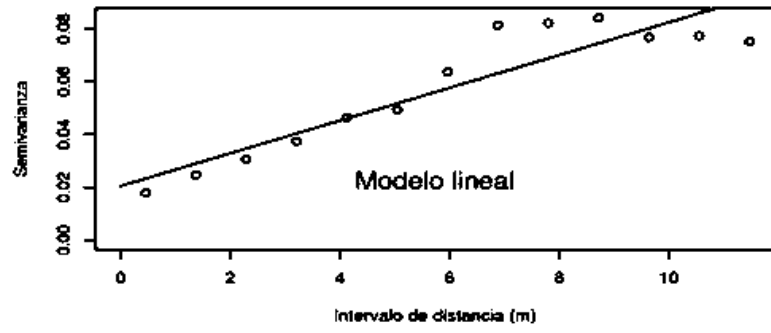


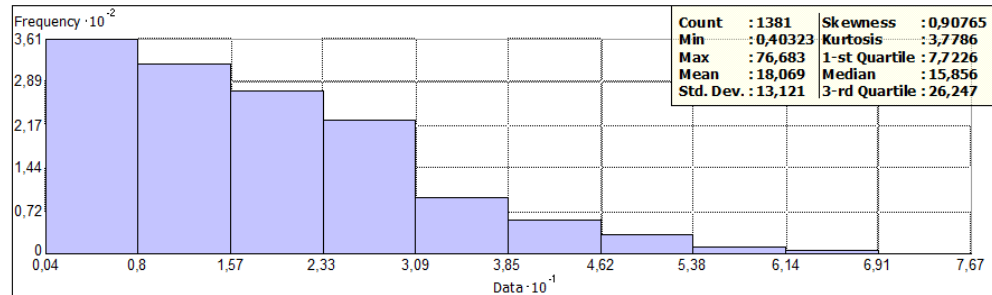
Figura 7.- Gráfica Modelo lineal.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE LOS DATOS

#### 4.1.1. DATOS PARCELAS DE EUCALIPTO GLOBULUS

En primer lugar vamos a proceder a la verificación de la normalidad con respecto a la asimetría horizontal.



*Figura 8.-Histograma datos Parcelas de Eucalipto.*

Como el coeficiente de sesgo permite verificar la normalidad de los datos, en el caso de existir asimetría horizontal, es decir, que los datos no se ajustan a una distribución normal, Wester-Oliver propone evaluar lo siguiente:

- Si  $0 < |CS| < 0.5$  se acepta la función de distribución de probabilidad como normal.
- Si  $0.5 < |CS| < 1$  es necesario realizar una transformación de los datos del tipo raíz cuadrada.
- Si  $|CS| > 1$  es necesario realizar una transformación del tipo logarítmica.

En nuestro caso, como se puede ver en la Figura 8, el coeficiente de sesgo (skewness) es igual a 0.908, por lo que es necesario realizar una transformación del tipo raíz cuadrada.

También se procedió a la verificación de la normalidad con respecto al Coeficiente de Variación. Tanto la función de distribución de los datos, como la varianza son funciones de la media, la cual es altamente sensible a los valores extremos. Se debe verificar:

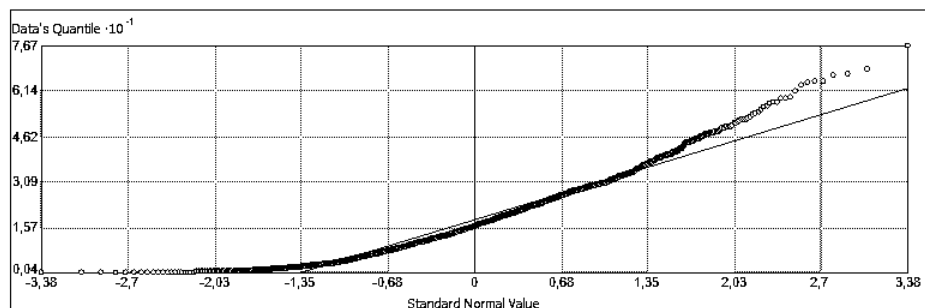
- Si  $CV < 100$  no hay problemas con los valores extremos.
- Si  $100 < CV \leq 200$  los efectos causados por los valores extremos de los datos son tolerables.
- Si  $CV > 200$  se tienen severos problemas con los valores extremos de los datos.

$$CV = \left( \frac{S}{\bar{X}} \right) * 100$$

$$CV = \left( \frac{13.121}{18.069} \right) * 100$$

$$CV = 72.616$$

En nuestro caso el Coeficiente de variación es igual a 72.616, por lo que no hay problemas con los valores extremos de los datos.



*Figura 9.- Gráfica QQPlot datos Parcelas de Eucalipto.*

En la gráfica de la Figura 9 se puede observar que los datos se encuentran más o menos normalizados, con algunas desviaciones en las esquinas y una tendencia mayoritariamente central.

Una vez realizado el análisis de los parámetros estadísticos vamos a proceder a analizar la tendencia.

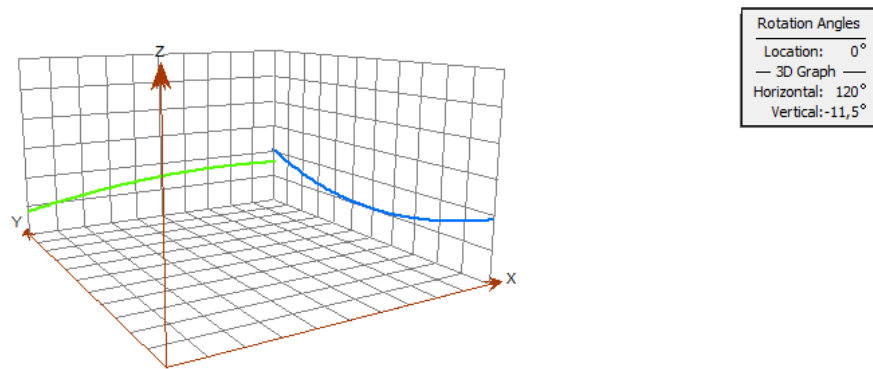


Figura 10.- Gráfica Trend Analisis de los datos Parcelas de Eucalipto.

Como se puede ver en la Figura 10, se observa una línea curva con una única concavidad, por lo que tenemos una tendencia del tipo cuadrática (Díaz Viera,2002).

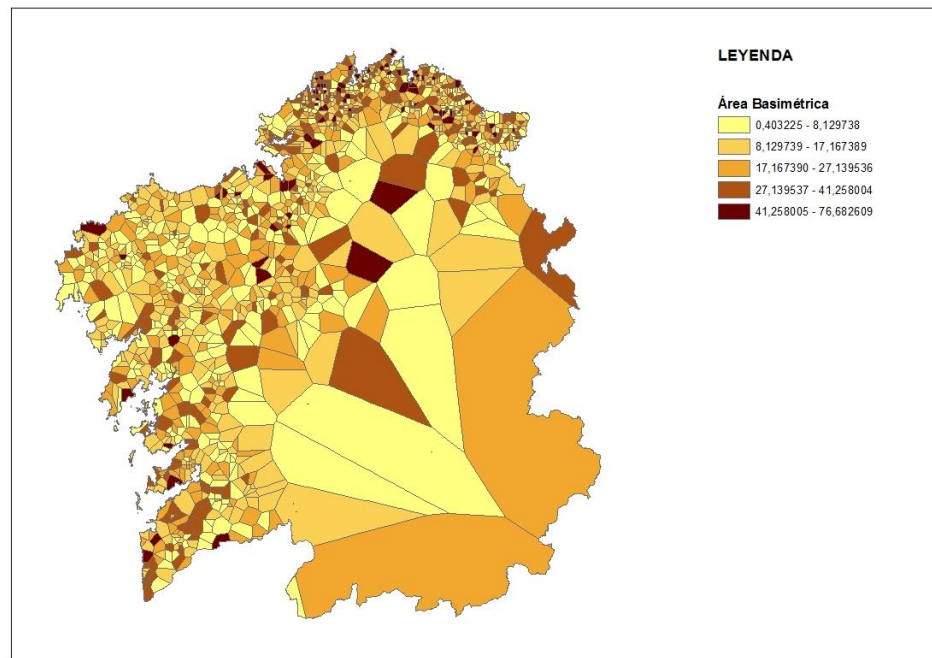


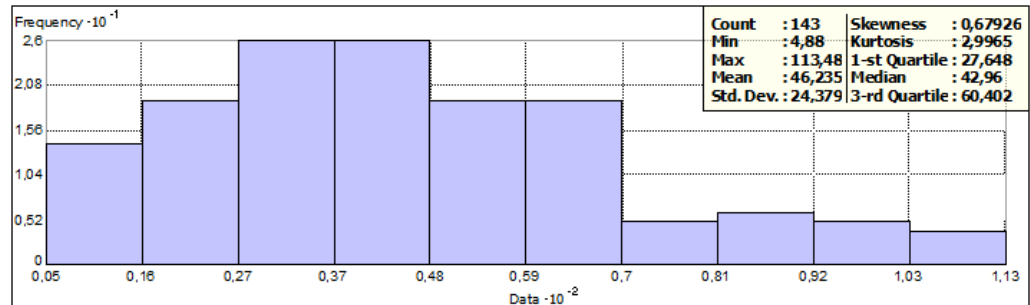
Figura 11.- Mapa de Voronoi datos Parcelas de Eucalipto.

En el mapa de Voronoi de la Figura 11 se puede observar las diferentes tendencias.



#### 4.1.2. DATOS PARCELAS MONTE SIERRA DE ARMAYÁN

En primer lugar vamos a proceder a la verificación de la normalidad con respecto a la asimetría horizontal.



*Figura 12.-Histograma datos Parcelas de Armayán.*

Como el coeficiente de sesgo vamos a verificar la normalidad de los datos, en el caso de existir asimetría horizontal, es decir, que los datos no se ajustan a una distribución normal, Wester-Oliver propone evaluar lo siguiente:

- Si  $0 < |CS| < 0.5$  se acepta la función de distribución de probabilidad como normal.
- Si  $0.5 < |CS| < 1$  es necesario realizar una transformación de los datos del tipo raíz cuadrada.
- Si  $|CS| > 1$  es necesario realizar una transformación del tipo logarítmica.

En el caso de las parcelas de Armayán el coeficiente de sesgo (skewness), como se puede observar en la figura 12, es igual a 0.679226, por lo que es necesario realizar una transformación del tipo raíz cuadrada.

También se procedió a la verificación de la normalidad con respecto al Coeficiente de Variación. Tanto la función de distribución de los datos, como la varianza son funciones de la media, la cual es altamente sensible a los valores extremos. Se debe verificar:

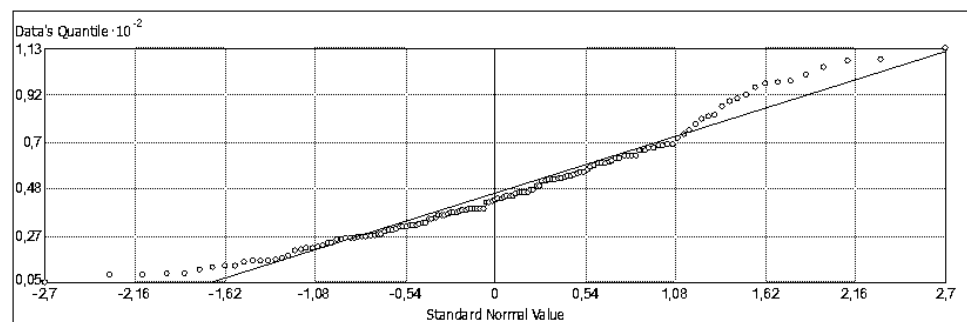
- Si  $CV < 100$  no hay problemas con los valores extremos.
- Si  $100 < CV \leq 200$  los efectos causados por los valores extremos de los datos son tolerables.
- Si  $CV > 200$  se tienen severos problemas con los valores extremos de los datos.

$$CV = \left(\frac{S}{\bar{X}}\right) * 100$$

$$CV = \left(\frac{24.379}{46.235}\right) * 100$$

$$CV = 52.728$$

En nuestro caso el Coeficiente de variación es igual a 52.728, por lo que no hay problemas con los valores extremos de los datos.



*Figura 13.- Gráfica QQPlot datos Parcelas de Armayán.*

En la gráfica (Figura 13) se puede observar que los datos se encuentran más o menos normalizados, con algunas desviaciones en las esquinas y una tendencia mayoritariamente central.

Una vez realizado el análisis de los parámetros estadísticos vamos a proceder a analizar la tendencia.

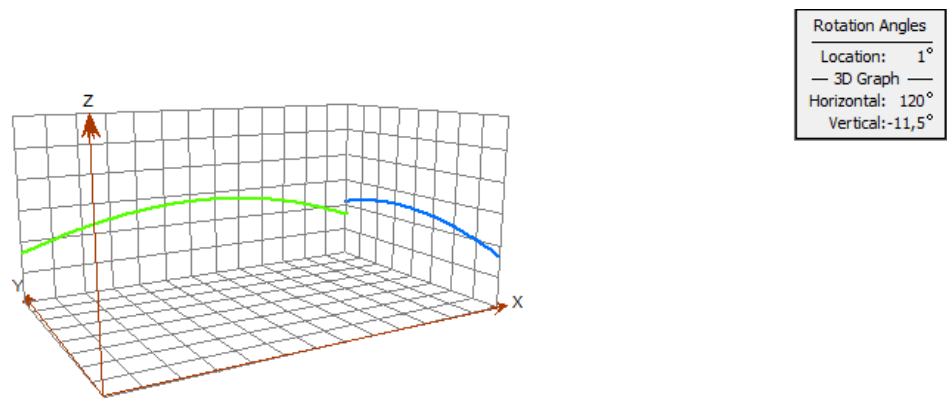


Figura 14.- Gráfica Trend Analisis de los datos Parcelas de Armayán.

Como se puede ver en el gráfico (Figura 14), se trata de una tendencia de tipo cuadrática, ya que se observa líneas curvas con una única concavidad (Díaz Viera,2002).

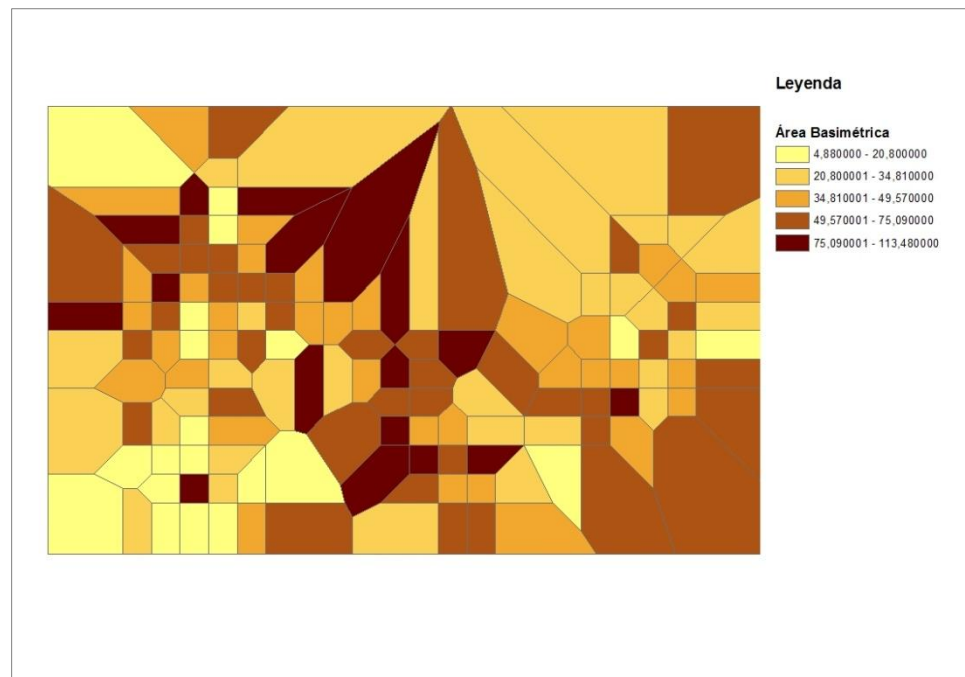


Figura 15.- Mapa de Voronoi datos Parcelas de Armayán.

En el mapa de Voronoi de la Figura 15 se puede observar las diferentes tendencias.

## 4.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS DATOS

Una vez realizado el análisis exploratorio de los datos, se procede a realizar el análisis estructural de estos mediante la herramienta Geoestadística Kriging Ordinario.

Hemos empleado cuatro métodos distintos con el fin de cuantificar cuál de ellos es el más adecuado para la predicción de la variable Área Basimétrica tanto de las parcelas de Eucalipto Globulus de la comunidad autónoma de Galicia, como para las parcelas del monte Sierra de Armayán en el concejo de Tineo, Principado de Asturias.

## 4.3. RESULTADOS

### 4.3.1. RESULTADOS PARA LAS PARCELAS DE EUCALIPTO DE GALICIA

#### 4.3.1.1. KRIGING ORDINARIO MÉTODO ESFÉRICO

Los resultados de Kriging Ordinario para el Método Esférico de las parcelas de eucalipto son los que se muestran en la Tabla 1, con sus respectivas gráficas de errores (Figura 16).

<b>PREDICCIÓN DE ERRORES</b>	
<b>Mean</b>	0,0297
<b>Root-Mean-Square</b>	12,878
<b>Mean Standardized</b>	0,002
<b>Root-Mean-Square Standardized</b>	0,949
<b>Average Standard Error</b>	13,621

*Tabla 1.- Predicción de errores método Esférico datos Parcelas de Eucalipto.*

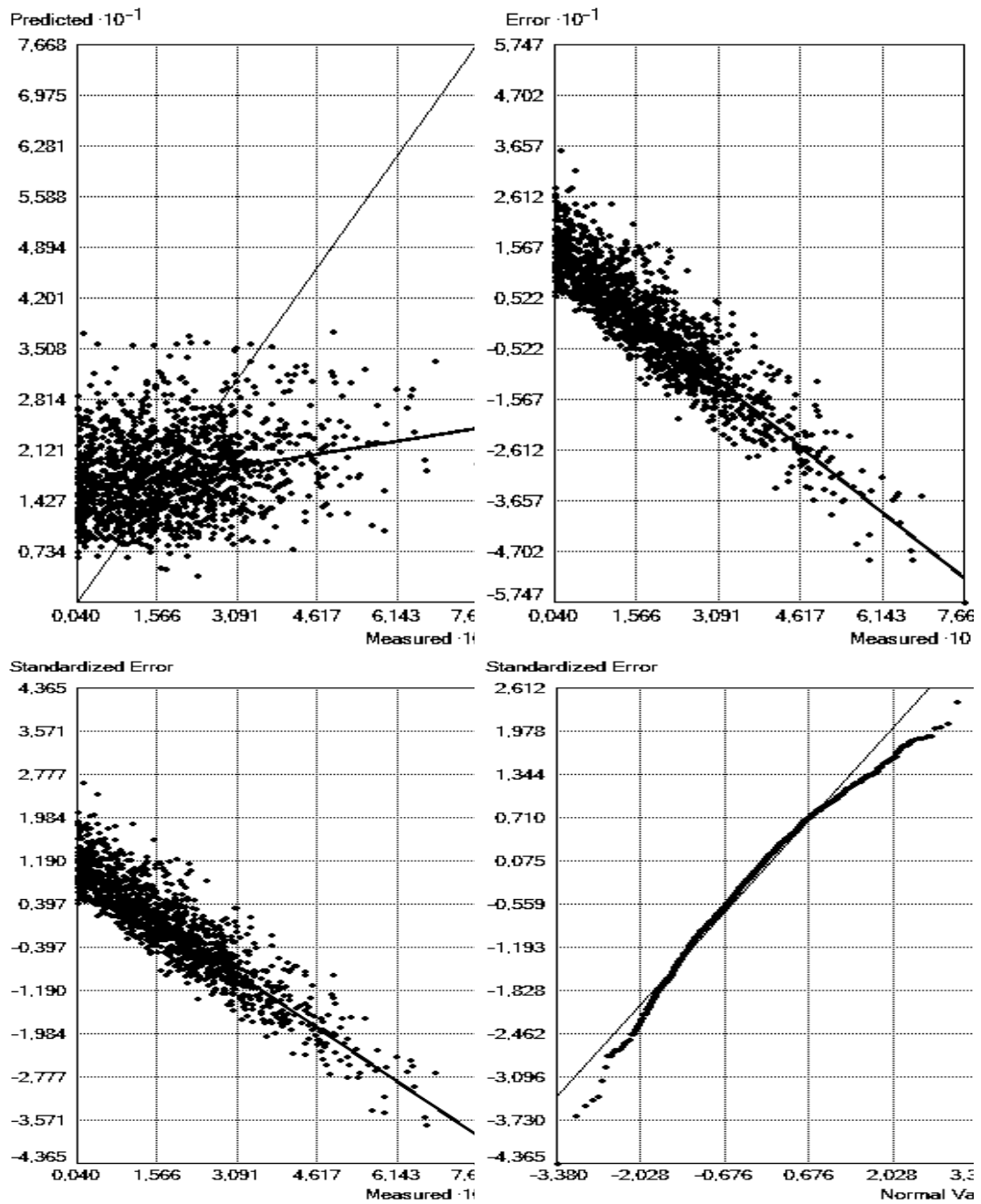
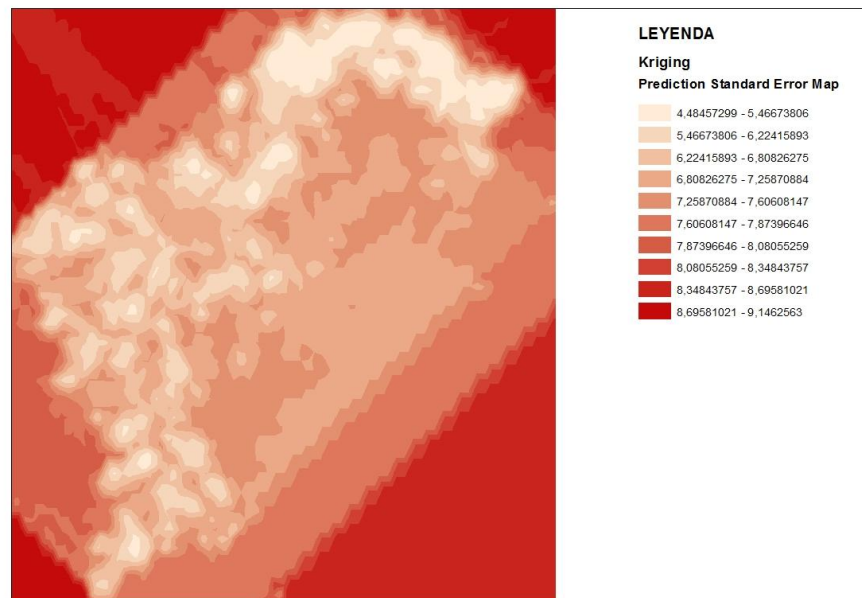


Figura 16.- Gráficas de errores método Esférico datos Parcelas Eucalipto.



*Figura 17.- Mapa de predicción estándar del error método Esférico datos Parcelas Eucalipto Galicia.*

A partir del mapa de Predicción Estándar del Error (Figura 17) se puede obtener la confiabilidad del método, la cual se calcula;

$$\text{CONFIABILIDAD} = 100 - \text{Error}$$

$$\text{CONFIABILIDAD} = 100 - 9.1463 = 90.85$$

En nuestro caso el método esférico tiene una confiabilidad del 90.85%.

Como resultado final se obtiene el mapa Kriging para el método Esférico (Figura 18).

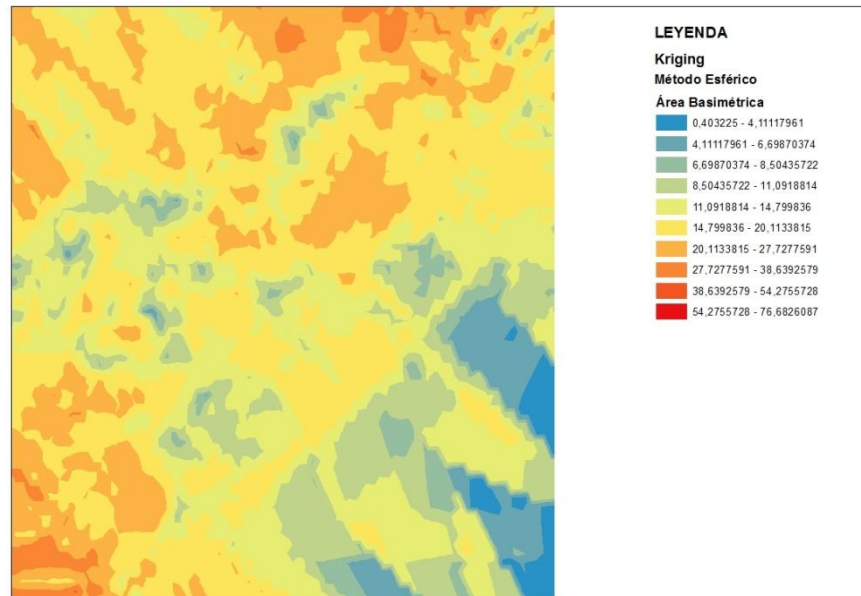


Figura 18.- Mapa Kriging Ordinario método Esférico datos Parcelas Eucalipto Galicia.

#### 4.3.1.2. KRIGING ORDINARIO MÉTODO EXPONENCIAL

Los resultados de Kriging Ordinario para el Método Exponencial de las parcelas de eucalipto son los que se muestran en la Tabla 2, con sus respectivas gráficas de errores (Figura 19).

<b>PREDICCIÓN DE ERRORES</b>	
Mean	-0,007
Root-Mean-Square	12,853
Mean Standardized	-0,001
Root-Mean-Square Standardized	0,951
Average Standard Error	13,564

Tabla 2.- Predicción de errores método Exponencial datos Parcelas de Eucalipto.

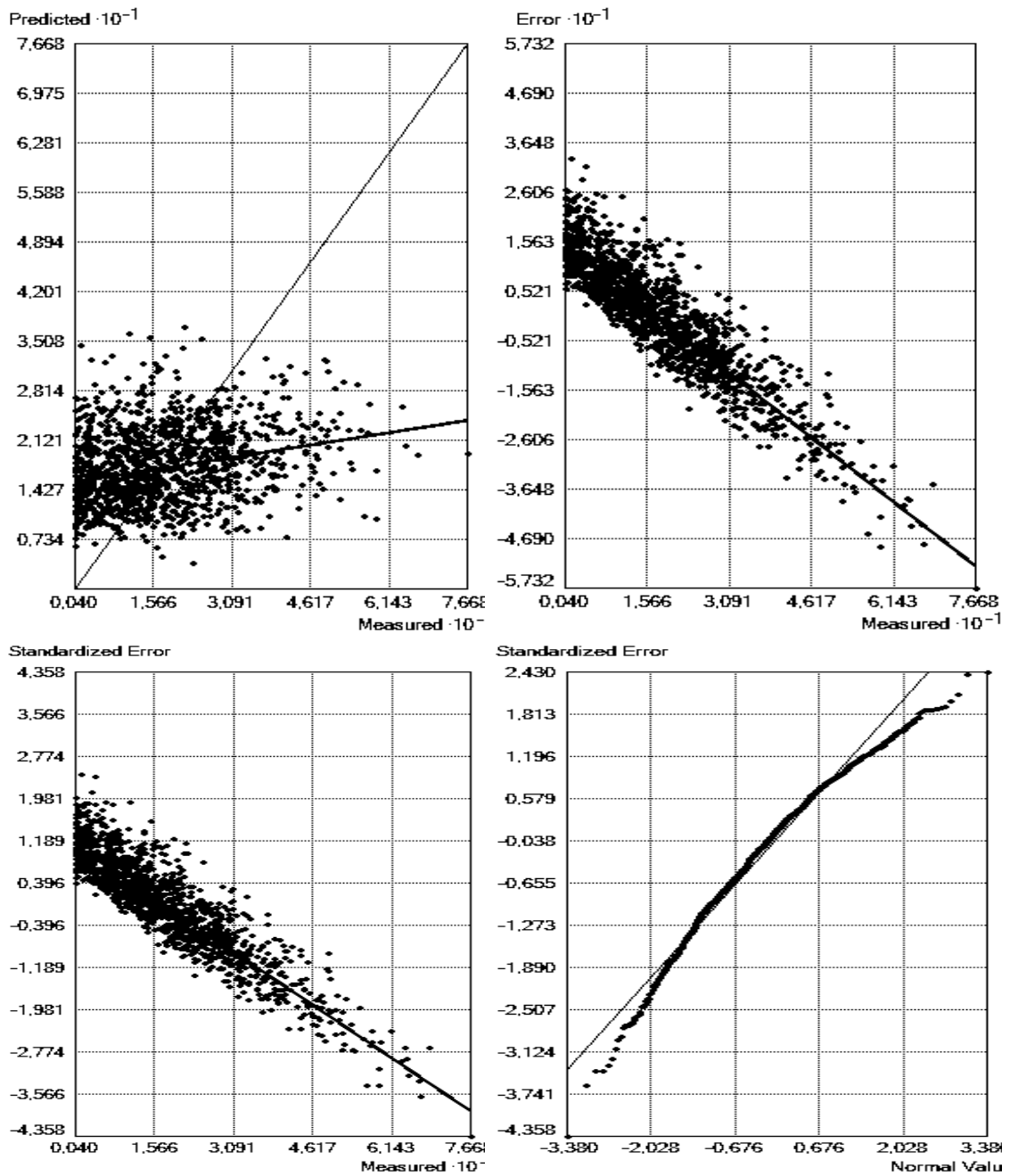
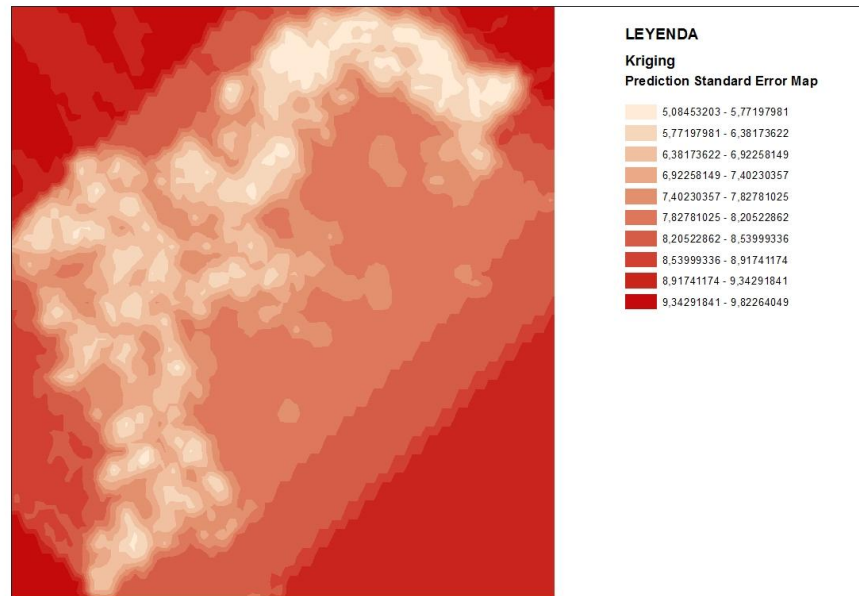


Figura 19.- Gráficas de errores método Exponencial datos Parcelas Eucalipto.





*Figura 20.- Mapa de predicción estándar del error método Exponencial datos Parcelas Eucalipto Galicia.*

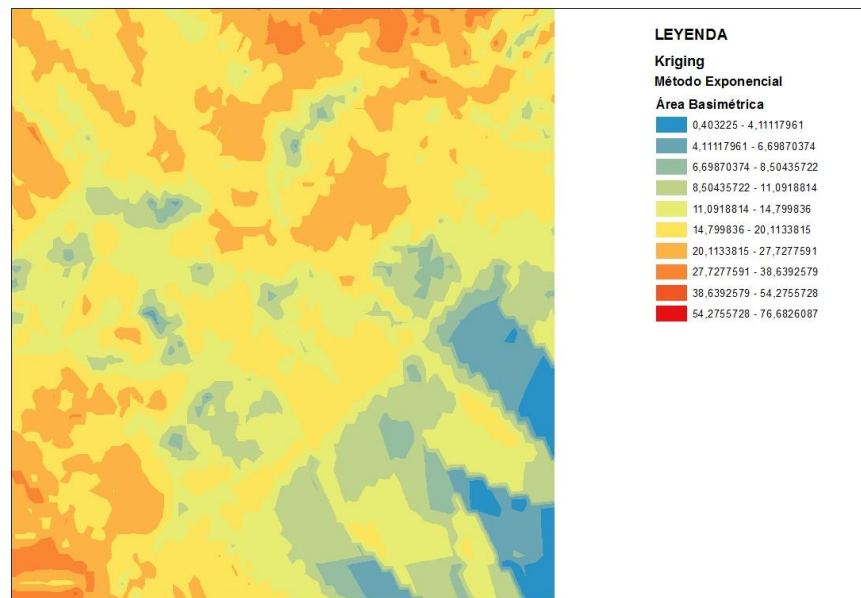
A partir del mapa de Predicción Estándar del Error (Figura 20), se puede obtener la confiabilidad del método, la cual se calcula;

$$\text{CONFIABILIDAD} = 100 - \text{Error}$$

$$\text{CONFIABILIDAD} = 100 - 9.8226 = 90.18$$

En nuestro caso el método exponencial tiene una confiabilidad del 90.18%.

Como resultado final se obtiene el mapa Kriging para el método Exponencial (Figura 21).



*Figura 21.- Mapa Kriging Ordinario método Exponencial datos Parcelas Eucalipto Galicia.*

#### 4.3.1.3. KRIGING ORDINARIO MÉTODO GAUSSIANO

Los resultados de Kriging Ordinario para el Método Gaussiano de las parcelas de eucalipto son los que se muestran en la Tabla 3, con sus respectivas gráficas de errores (Figura 22).

<b>PREDICCIÓN DE ERRORES</b>	
Mean	-0,004
Root-Mean-Square	12,841
Mean Standardized	-0,001
Root-Mean-Square Standardized	0,947
Average Standard Error	13,607

*Tabla 3.- Predicción de errores método Gaussiano datos Parcelas de Eucalipto.*

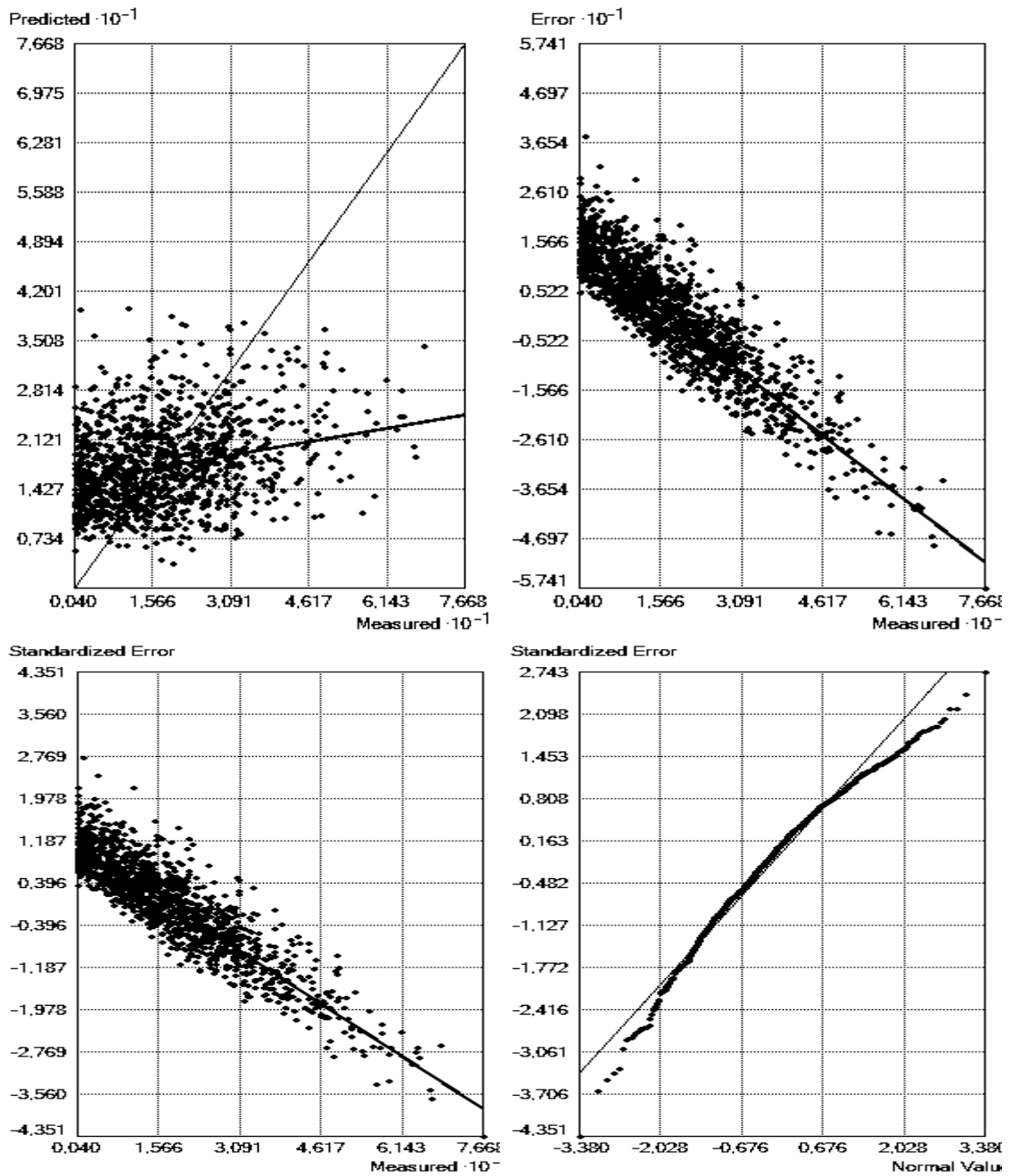
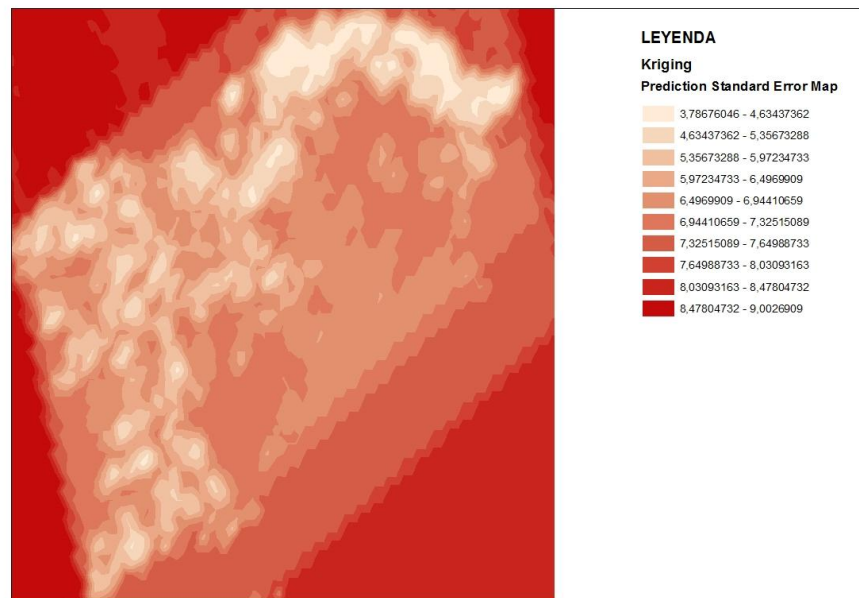


Figura 22.- Gráficas de errores método Gaussiano datos Parcelas Eucalipto



*Figura 23.- Mapa de predicción estándar del error método Gaussiano datos Parcelas Eucalipto Galicia.*

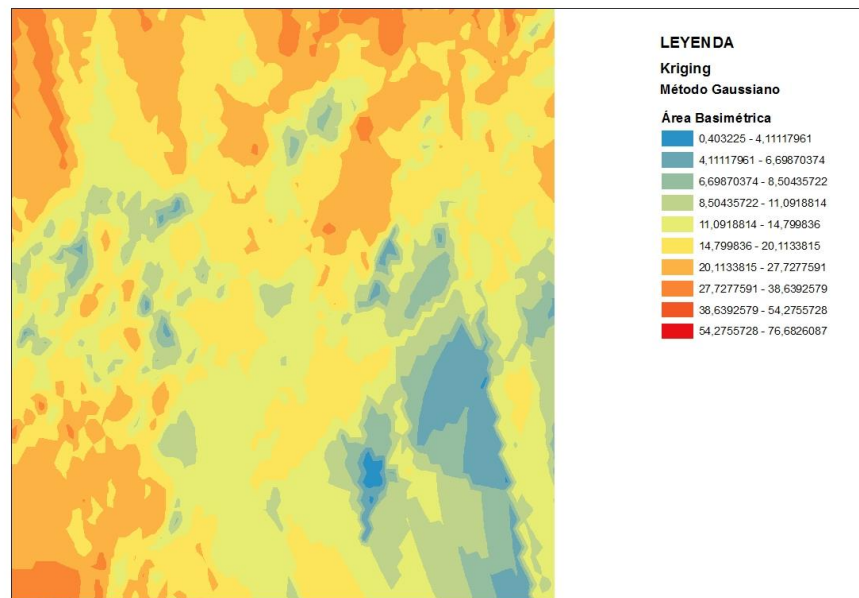
A partir del mapa de Predicción Estándar del Error (Figura 23), se puede obtener la confiabilidad del método, la cual se calcula;

$$\text{CONFIABILIDAD} = 100 - \text{Error}$$

$$\text{CONFIABILIDAD} = 100 - 9.0027 = 90.99$$

En nuestro caso el método gaussiano tiene una confiabilidad del 90.99%.

Como resultado final se obtiene el mapa Kriging para el método Gaussiano (Figura 24).



*Figura 24.- Mapa Kriging Ordinario método Gaussiano datos Parcelas Eucalipto Galicia.*

#### 4.3.1.4. KRIGING ORDINARIO MÉTODO LINEAL

Los resultados de Kriging Ordinario para el Método Lineal de las parcelas de eucalipto son los que se muestran en la Tabla 4, con sus respectivas gráficas de errores (Figura 25).

<b>PREDICCIÓN DE ERRORES</b>	
Mean	-0,004
Root-Mean-Square	13,058
Mean Standardized	-0,001
Root-Mean-Square Standardized	0,935
Average Standard Error	13,969

*Tabla 4.- Predicción de errores método Lineal datos Parcelas de Eucalipto.*

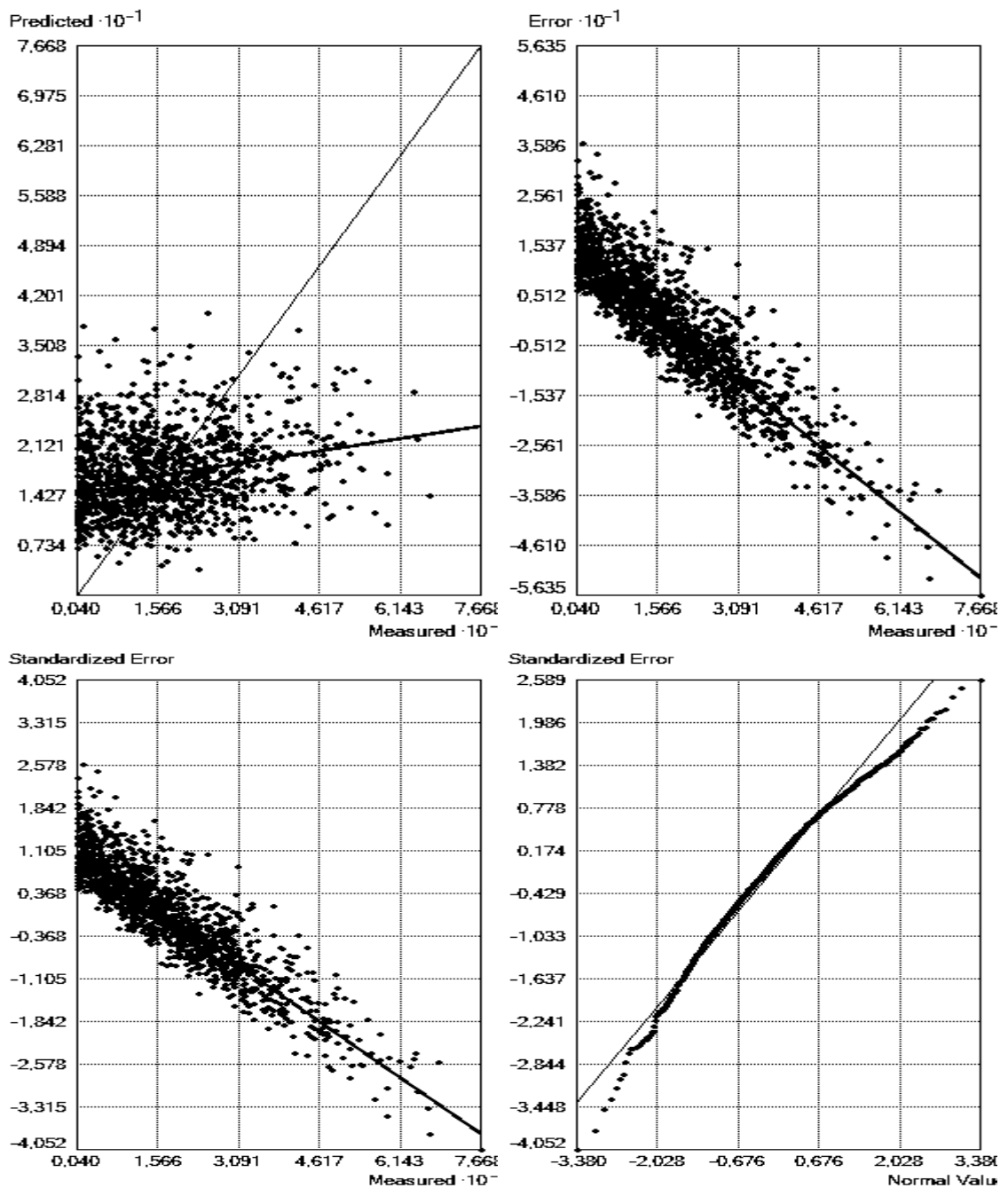
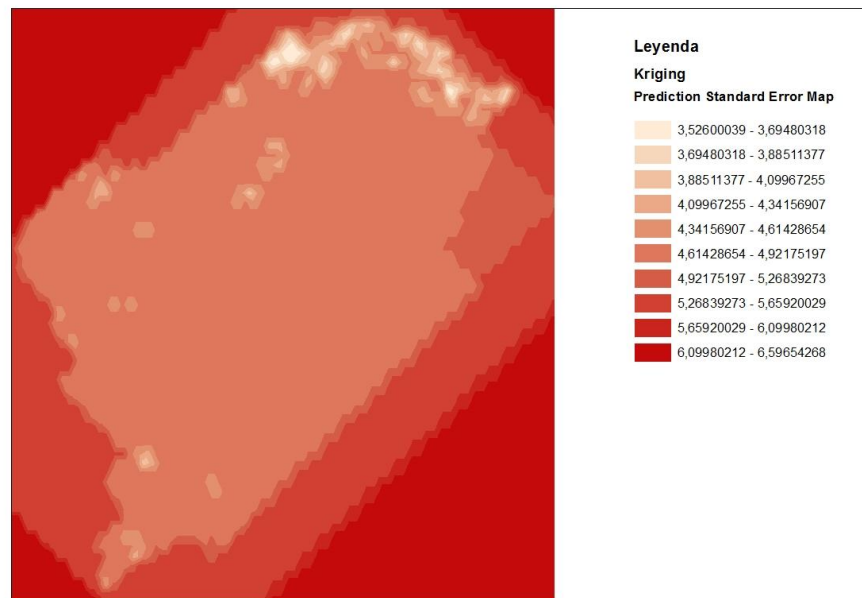


Figura 25.- Gráficas de errores método Lineal datos Parcelas Eucalipto



*Figura 26.- Mapa de predicción estándar del error método Lineal datos Eucalipto Galicia.*

A partir del mapa de Predicción Estándar del Error (Figura 26), se puede obtener la confiabilidad del método, la cual se calcula;

$$\text{CONFIABILIDAD} = 100 - \text{Error}$$

$$\text{CONFIABILIDAD} = 100 - 6.5965 = 93.40$$

En nuestro caso el método lineal tiene una confiabilidad del 93.40%.

Como resultado final se obtiene el mapa Kriging para el método Lineal (Figura 27).

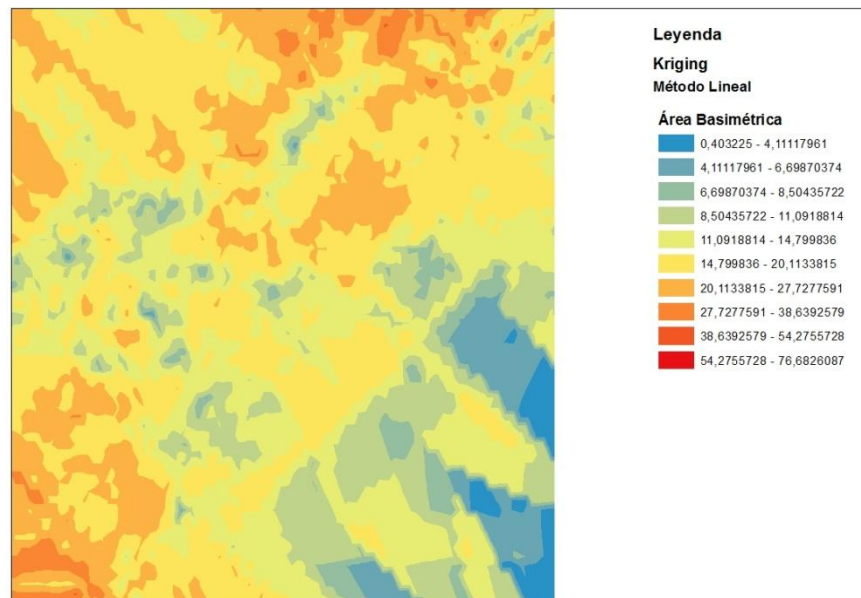


Figura 27.- Mapa Kriging Ordinario método Lineal datos Parcelas Eucalipto

#### 4.3.2. RESULTADOS PARA LAS PARCELAS MONTE SIERRA DE ARMAYÁN

##### 4.3.2.1. KRIGING ORDINARIO MÉTODO ESFÉRICO

Los resultados del Kriging Ordinario para el Método Esférico de las parcelas del monte Sierra de Armayán son los que se muestran en la Tabla 5, con las gráficas de sus respectivos errores (Figura 28).

<b>PREDICCIÓN DE ERRORES</b>	
<b>Mean</b>	-0,057
<b>Root-Mean-Square</b>	22,600
<b>Mean Standardized</b>	-0,002
<b>Root-Mean-Square Standardized</b>	1,026
<b>Average Standard Error</b>	22,019

Tabla 5.- Predicción de errores método Esférico datos Parcelas Armayán.



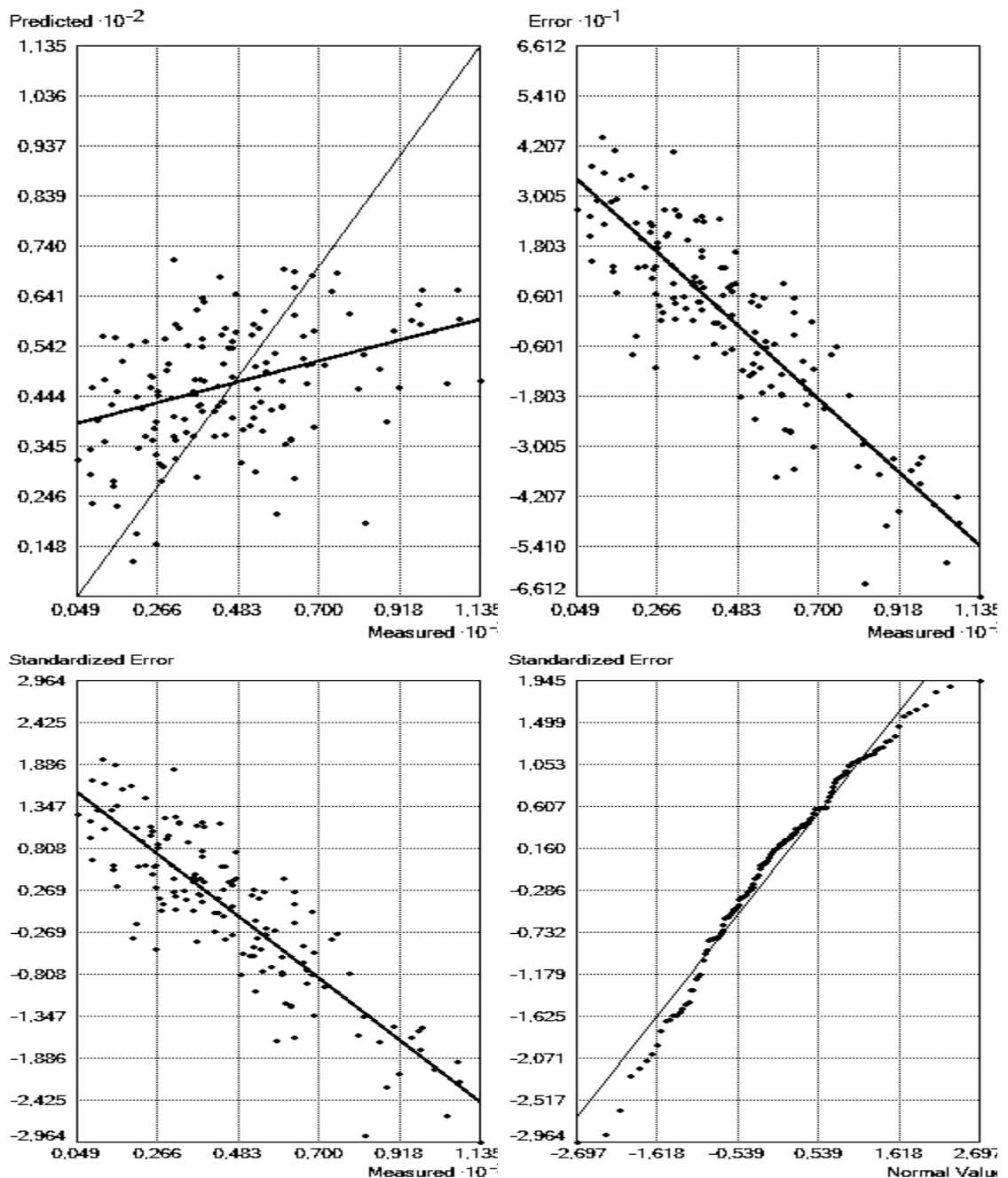
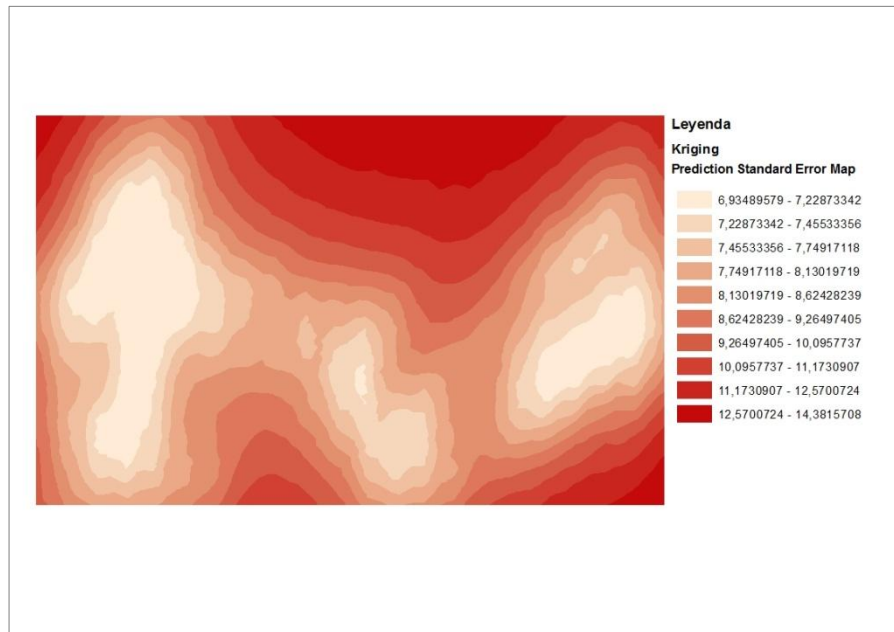


Figura 28.- Gráficas de errores método Esférico datos Parcelas Armayán.



*Figura 29.- Mapa de predicción estándar del error método Esférico datos Parcelas de Armayán.*

A partir del mapa de Predicción Estándar del Error (Figura 29), se puede obtener la confiabilidad del método, la cual se calcula;

$$\text{CONFIABILIDAD} = 100 - \text{Error}$$

$$\text{CONFIABILIDAD} = 100 - 14.3816 = 85.618$$

En nuestro caso el método esférico tiene una confiabilidad del 85.62%.

Como resultado final se obtiene el mapa Kriging para el método Esférico (Figura 30).

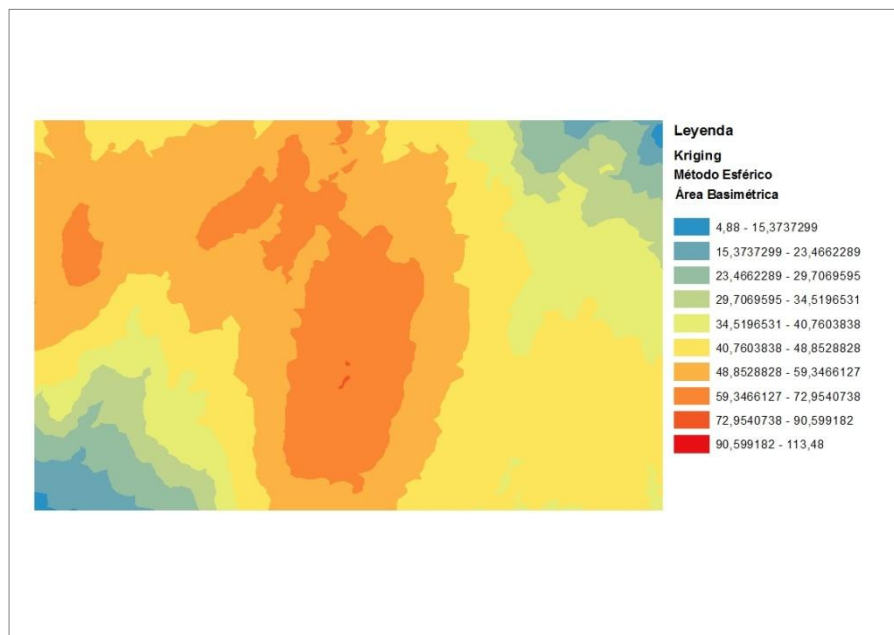


Figura 30.- Mapa Kriging Ordinario método Esférico datos Parcelas de Armayán.

#### 4.3.2.2. KRIGING ORDINARIO MÉTODO EXPONENCIAL

Los resultados del Kriging Ordinario para el Método Exponencial de las parcelas del monte Sierra de Armayán son los que se muestran en la Tabla 6, con las gráficas de sus respectivos errores (Figura 31).

<b>PREDICCIÓN DE ERRORES</b>	
<b>Mean</b>	-0,194
<b>Root-Mean-Square</b>	23,286
<b>Mean Standardized</b>	-0,009
<b>Root-Mean-Square Standardized</b>	1,060
<b>Average Standard Error</b>	21,969

Tabla 6.- Predicción de errores método Exponencial datos Parcelas Armayán.

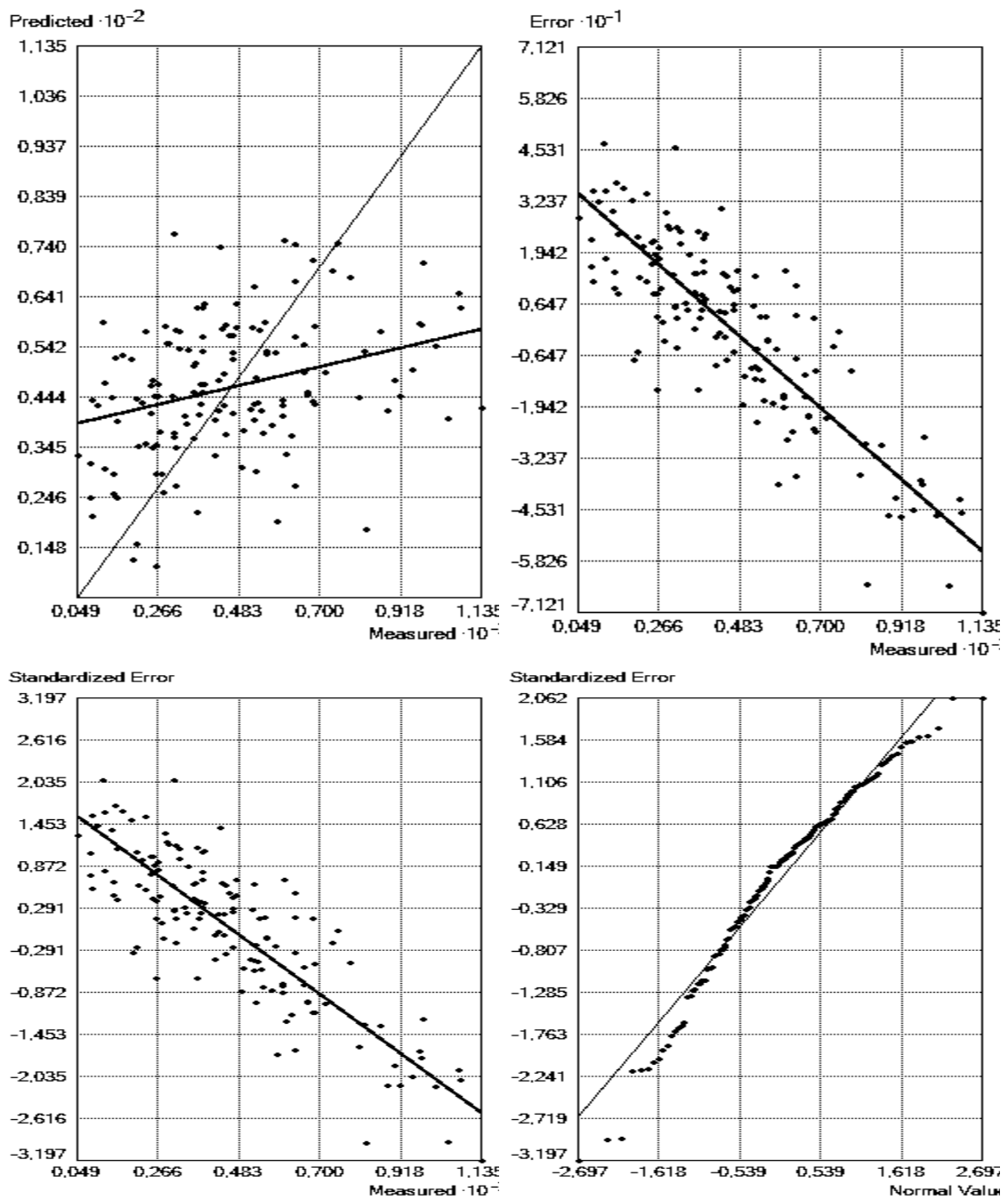
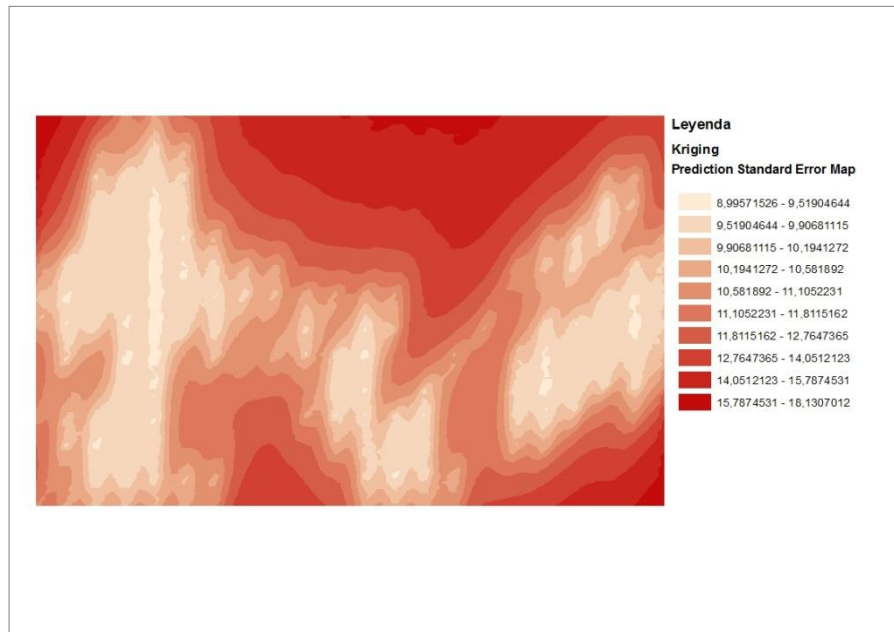


Figura 31.- Gráficas de errores método Exponencial datos Parcelas Armayán.



*Figura 32.- Mapa de predicción estándar del error método Exponencial datos Parcelas de Armayán.*

A partir del mapa de Predicción Estándar del Error (Figura 32), se puede obtener la confiabilidad del método, la cual se calcula;

$$\text{CONFIABILIDAD} = 100 - \text{Error}$$

$$\text{CONFIABILIDAD} = 100 - 18.1307 = 81.869$$

En nuestro caso el método exponencial tiene una confiabilidad del 81.87%.

Como resultado final se obtiene el mapa Kriging para el método Exponencial (Figura 33).

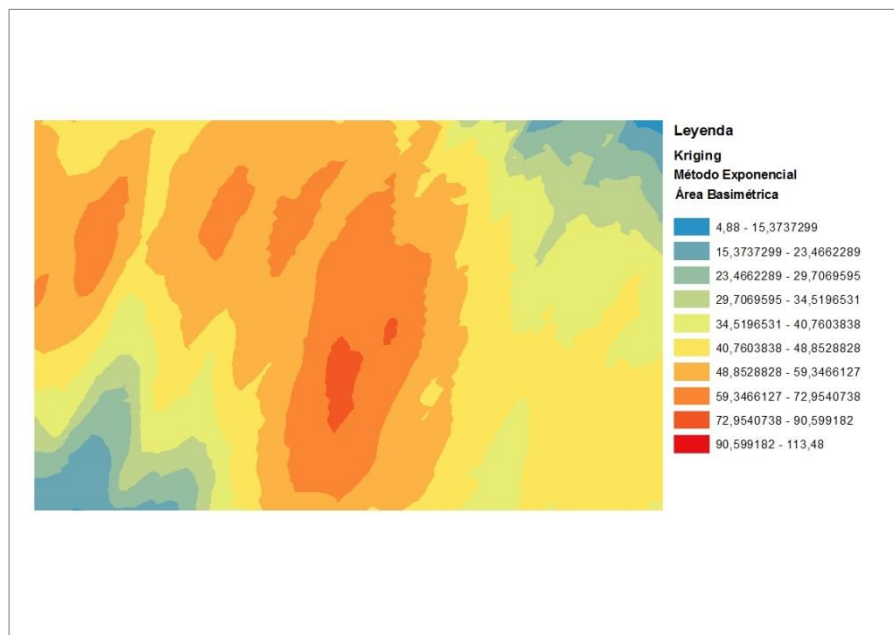


Figura 33.- Mapa Kriging Ordinario método Exponencial datos Parcelas de Armayán.

#### 4.3.2.3. KRIGING ORDINARIO MÉTODO GAUSSIANO

Los resultados del Kriging Ordinario para el Método Gaussiano de las parcelas del monte Sierra de Armayán son los que se muestran en la Tabla 7, con las gráficas de sus respectivos errores (Figura 34).

PREDICCIÓN DE ERRORES	
Mean	-0,302
Root-Mean-Square	22,909
Mean Standardized	-0,013
Root-Mean-Square Standardized	1,043
Average Standard Error	21,964

Tabla 7.- Predicción de errores método Gaussiano datos Parcelas Armayán.

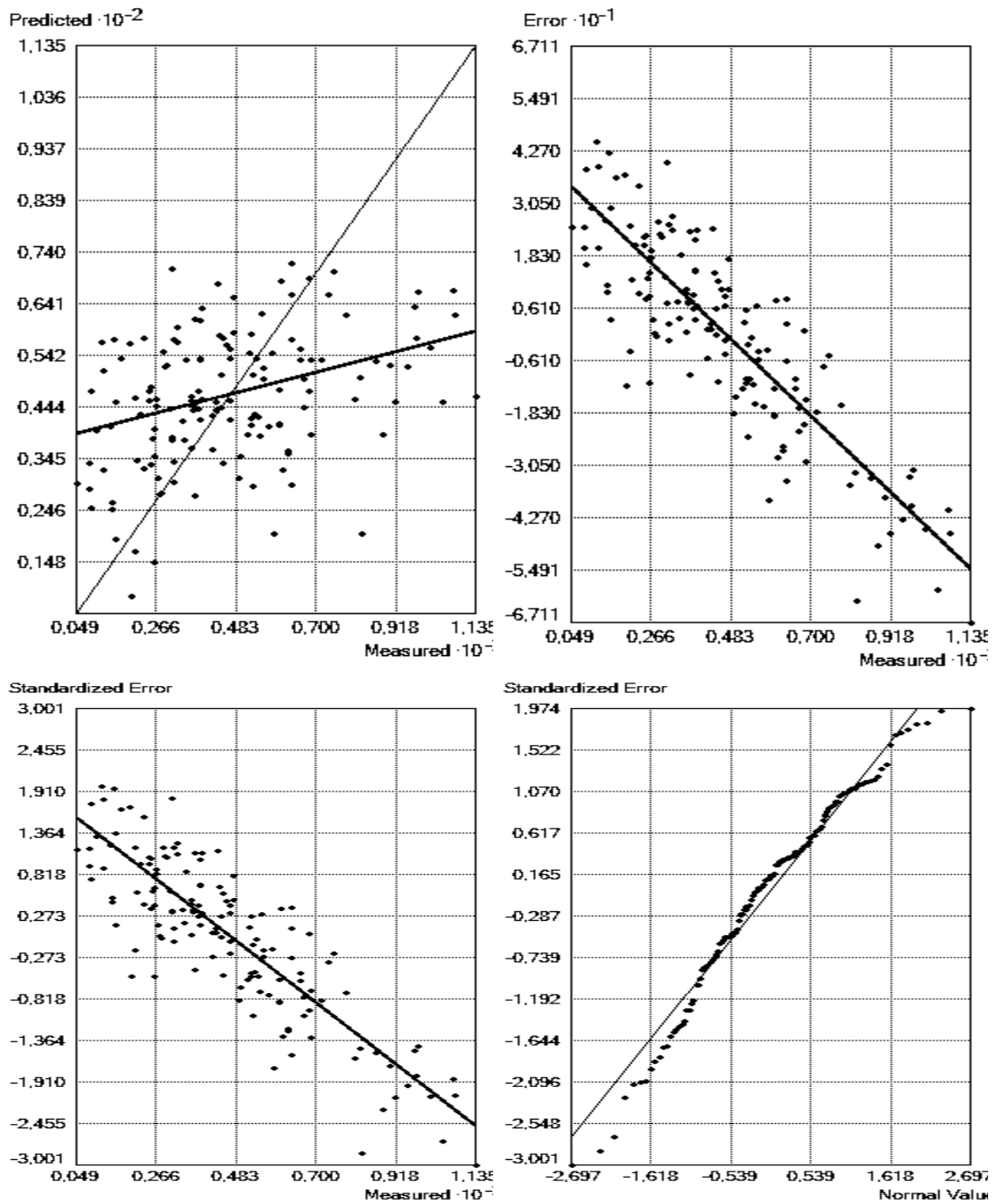
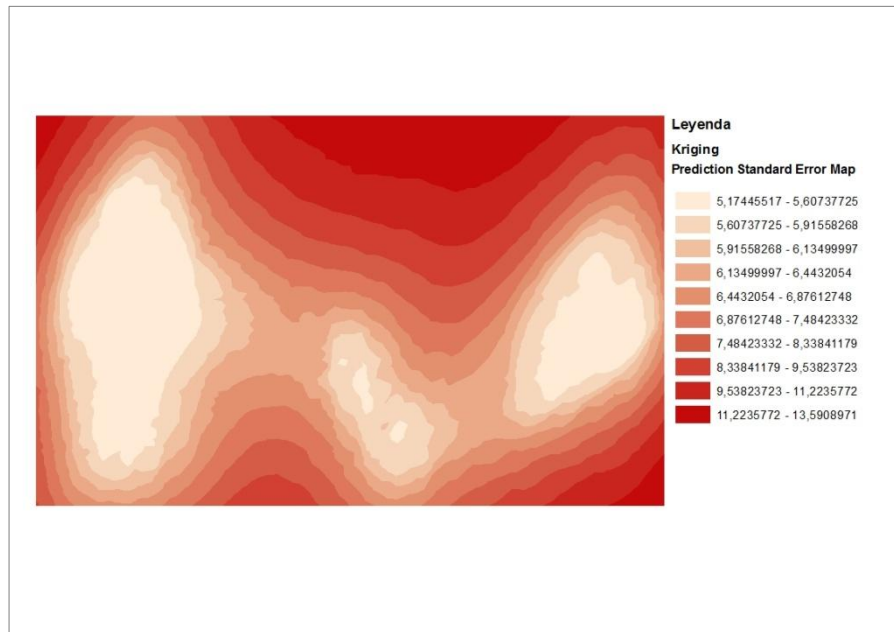


Figura 34.- Gráficas de errores método Gaussiano datos Parcelas Armayán.



*Figura 35.- Mapa de predicción estándar del error método Gaussiano datos Parcelas de Armayán*

A partir del mapa de Predicción Estándar del Error (Figura 35), se puede obtener la confiabilidad del método, la cual se calcula;

$$\text{CONFIABILIDAD} = 100 - \text{Error}$$

$$\text{CONFIABILIDAD} = 100 - 13.5908 = 86.409$$

En nuestro caso el método gaussiano tiene una confiabilidad del 86.41%.

Como resultado final se obtiene el mapa Kriging para el método Gaussiano (Figura 36).



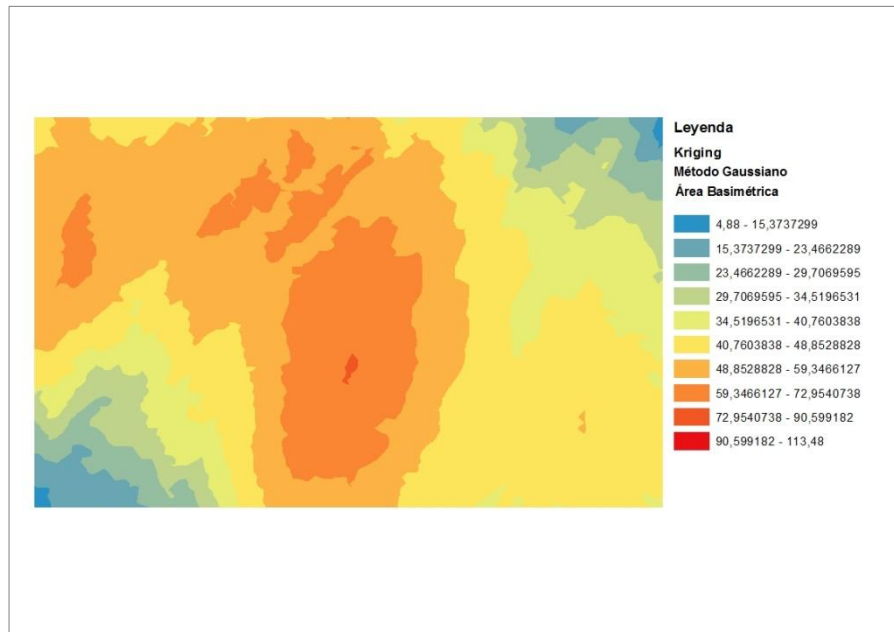


Figura 36.- Mapa Kriging Ordinario método Gaussiano datos Parcelas de Armayán.

#### 4.3.2.4. KRIGING ORDINARIO MÉTODO LINEAL

Los resultados del Kriging Ordinario para el Método Lineal de las parcelas del monte Sierra de Armayán son los que se muestran en la Tabla 8, con las gráficas de sus respectivos errores (Figura 37).

PREDICCIÓN DE ERRORES	
Mean	-0,430
Root-Mean-Square	24,305
Mean Standardized	-0,0173
Root-Mean-Square Standardized	0,988
Average Standard Error	24,617

Tabla 8.- Predicción de errores método Lineal datos Parcelas Armayán.

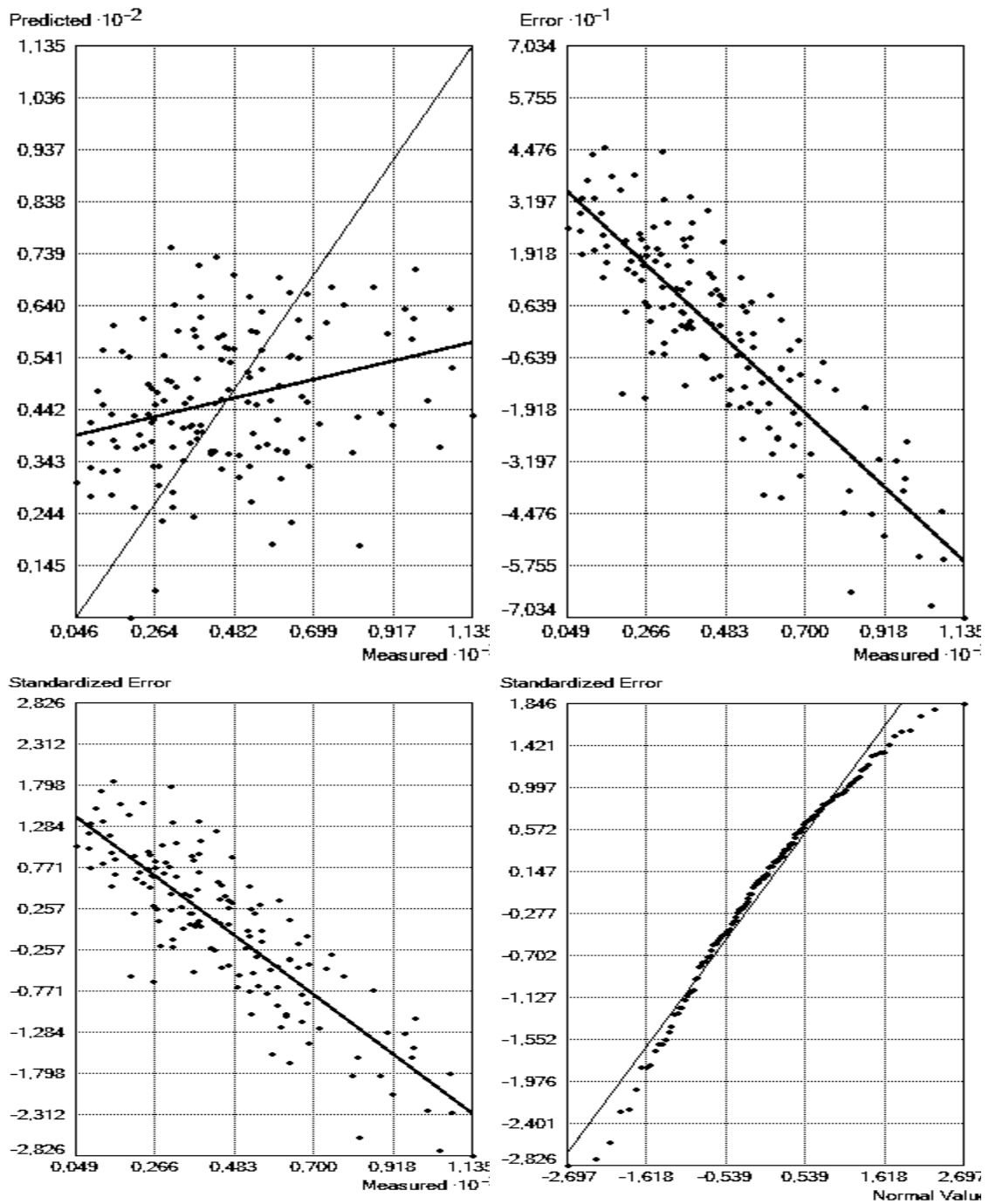
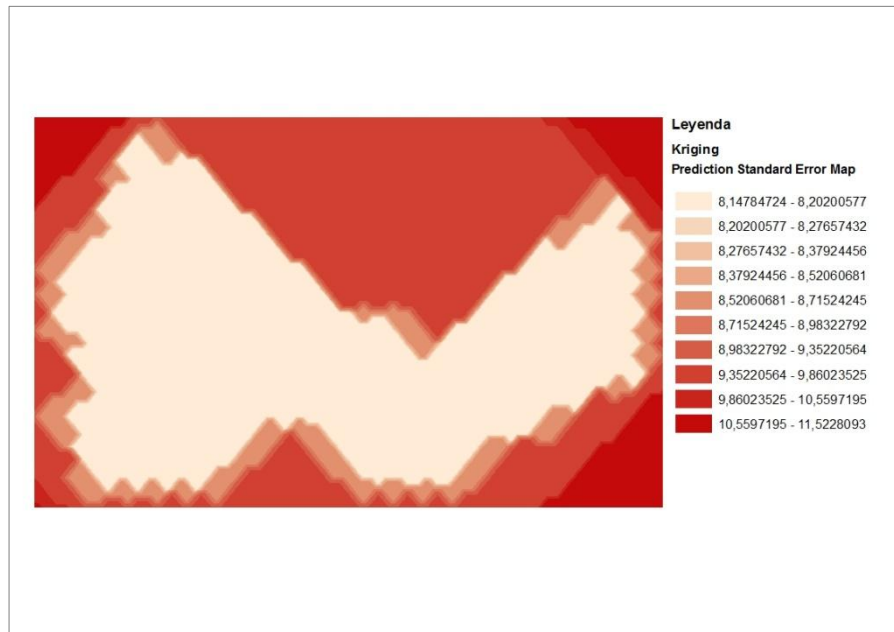


Figura 37.- Gráficas de errores método Lineal datos Parcelas Armayán.



*Figura 38.- Mapa de predicción estándar del error método Lineal datos Parcelas de Armayán*

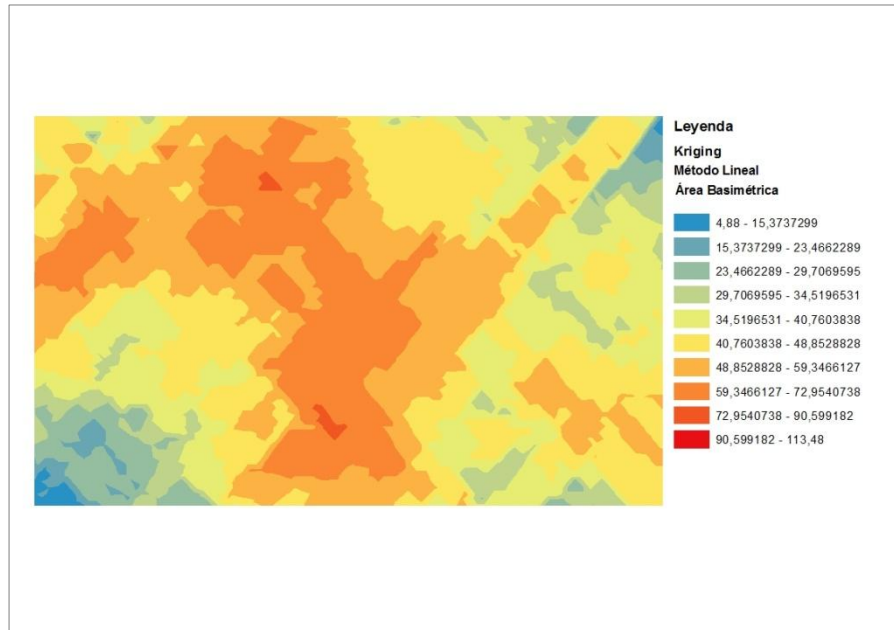
A partir del mapa de Predicción Estándar del Error (Figura 38), se puede obtener la confiabilidad del método, la cual se calcula;

$$\text{CONFIABILIDAD} = 100 - \text{Error}$$

$$\text{CONFIABILIDAD} = 100 - 11.5228 = 88.477$$

En nuestro caso el método lineal tiene una confiabilidad del 88.48%.

Como resultado final se obtiene el mapa Kriging para el método Lineal (Figura 39).



*Figura 39.- Mapa Kriging Ordinario método Lineal datos Parcelas de Armayán.*

#### 4.4. RESUMEN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se muestra un resumen de los resultados para los datos de las parcelas de Eucalipto de Galicia (Tabla 9), y para los datos del monte Sierra de Armayán (Tabla 10).

	<b>M. Esférico</b>	<b>M. Exponencial</b>	<b>M. Gaussiano</b>	<b>M. Lineal</b>
<b>Root-Mean-Square</b>	12,878	12,853	12,841	13,058
<b>Average Standard Error</b>	13,621	13,564	13,607	13,969
<b>Root-Mean-Square Standardized</b>	0,949	0,951	0,974	0,935
<b>Confiabilidad</b>	90,85%	90,18%	90,99%	93,40%

*Tabla 9.- Resultados para datos Parcelas Eucalipto Galicia.*

	<b>M. Esférico</b>	<b>M. Exponencial</b>	<b>M. Gaussiano</b>	<b>M. Lineal</b>
<b>Root-Mean-Square</b>	22,600	23,286	22,909	24,305
<b>Average Standard Error</b>	22,019	21,969	21,964	24,617
<b>Root-Mean-Square Standardized</b>	1,026	1,060	1,043	0,989
<b>Confiabilidad</b>	85,62%	81,87%	86,41%	88,48%

*Tabla 10.- Resultados para datos Monte Sierra de Armayán.*

Según Londoño (2007), para seleccionar el modelo que mejor modela nuestros datos es necesario escoger el que presente un menos Root-Mean-Square, menor Average Standard Error, Root-Mean-Square más cercano a uno y mayor porcentaje de confiabilidad.

El método de estimación geoestadístico que mejor proporciona el valor más probable del área basimétrica en un punto no experimental es el método Gaussiano en el caso de las parcelas de Eucalipto, que a pesar de que no es el que mayor confiabilidad tiene, si es el que posee una menor media cuadrática y una desviación típica más próxima a uno.

Por el contrario el método de estimación geoestadística más adecuado para la parcelas del monte Sierra de Armayán parece ser el método lineal, que presenta de entre los cuatro estudiados la desviación típica más cercana a uno y la confiabilidad más alta. A pesar de esto, los datos de las parcelas del monte Sierra de Armayán no proporcionan un buen resultado, ya que para aceptar un modelo geoestadístico es necesario tener una confiabilidad superior al 90%, y ninguno de los métodos empleados en el estudio lo alcanza. Esto puede ser debido a que se posee un bajo número de datos con valores bastante variados, por lo que existe la necesidad de mejorar la densidad de las medidas en el monte Sierra de Armayán.

Otros autores como Gilbert and Lowell (1997), Gunnarsson et al., (1998), Tuominen et al., (2003), Freeman and Moisen (2007) y Viana et al., (2012) también concluyen que los resultados obtenidos mediante este método no son del todo representativos para este tipo de variable.

## 5. CONCLUSIONES

El método de estimación geoestadístico que mejor proporciona el valor más probable es el método Gaussiano para el caso de las parcelas de eucalipto, para las parcelas del monte Sierra de Armayán no puede concluirse ningún método como el mejor, ya que ninguno de ellos alcanza una confiabilidad superior al 90%, porcentaje mínimo para considerar un modelo como aceptable.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- GALLARDO,A. & MAESTRE,F.T, 2008. Métodos geoestadísticos para el análisis de datos ecológicos especialmente explícitos. En: Maestre F.T., Escudero, A., Bonet, A. (Eds.), Introducción al Análisis Espacial de Datos en Ecología y Ciencias Ambientales: Métodos y Aplicaciones. Universidad Rey Juan Carlos, 215-272.
- CHICA-OLMO, M. & LUQUE ESPINAR, J.A, 2002. Interpolación espacial en la creación de cubiertas temáticas en S.I.G. En: Laín Huerta, L. (Ed.), Los Sistemas de Información Geográficos en la gestión de los riesgos geológicos y el medio ambiente. Instituto Geológico y Minero de España, 181-198.
- PEÑA LLOPIS,J., 2006. Sistemas de Información Geográfica aplicados a la gestión del territorio. Editorial Club Universitario, 208-209.
- DÍAZ VIERA,M., 2002. Geoestadística Aplicada. Instituto de Geofísica, UNAM.
- GALLARDO, A. 2006. Geoestadística. En: Ecosistemas, Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente. 15(3):48-58.
- GILBERT, B., LOWELL, K., 1997. Forest attributes and spatial autocorrelation and interpolation: effects of alternative sampling schemata in the boreal forest. Landscape and Urban Planning 37, 235–244.
- GUNNARSSON, F., HOLM, S., HOLMGREN, P., THURESSON, T., 1998. On the potential of Kriging for forest management planning. Scandinavian Journal of Forest Research 13, 237–245.
- TUOMINEM, S., FISH, S., POSO, S., 2003. Combining remote sensing, data from earlier inventories, and geostatistical interpolation in multisource forest inventory. Canadian Journal of Forest Research 33, 624–634.
- FREEMAN, E., MOISEN, G., 2007. Evaluating kriging as a tool to improve moderate resolution maps of forest biomass. Environmental Monitoring and Assessment 128, 395–410.



- VIANA, H., ARANHA, J., LOPES, D., COHEN, W. B., 2012. Estimation of crown biomass of Pinus pinaster stands and shrubland above-ground biomass using forest inventory data, remotely sensed imagery and spatial prediction models. Ecological Modelling 226, 22-35.
- LONDOÑO, L., 2007. Modelización y análisis espacial. Universidad de San Buenaventura. Facultad de Ingeniería Medellín.

Páginas Webs:

- <http://www.geoinfo-int.com/htmls/geostatistical.html>
- <http://www.eumed.net/libros/2007a/239/4a.htm>