



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



Variabilidade espacial de propriedades físico –
químicas do estuário “Ciénaga Grande de Santa Marta”
- CGSM Colômbia.

Omar Felipe Chaparro Saavedra
São José dos Campos, 2014

Motivação

- No processo de avaliação e diagnóstico da qualidade da água dos ecossistemas estuarinos é necessário estudar a dinâmica de diferentes variáveis físico-químicas, sua inter-relação e a contribuição de cada variável nas mudanças do ecossistema (Giraldo *et al.*, 2000)

Objetivos

- Identificar a distribuição espacial de variáveis físico-químicas do estuário Ciénaga Grande de Santa Marta - CGSM.

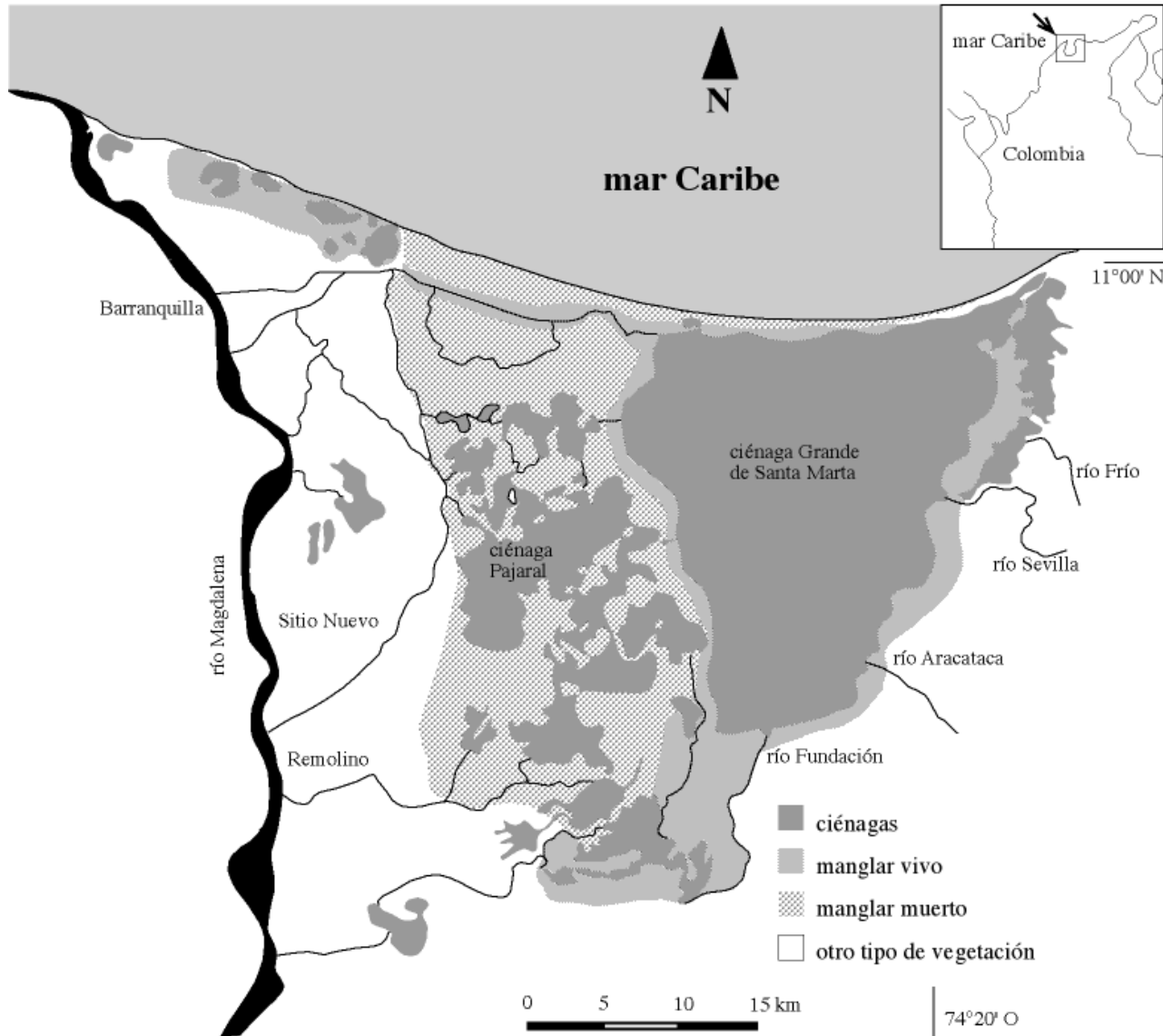
(Oxigênio dissolvido , Profundidade, Salinidade e Temperatura.

- Identificar os principais fatores que influenciam o padrão ou distribuição espacial das variáveis analisadas.

Área de estudio



Área de estudio

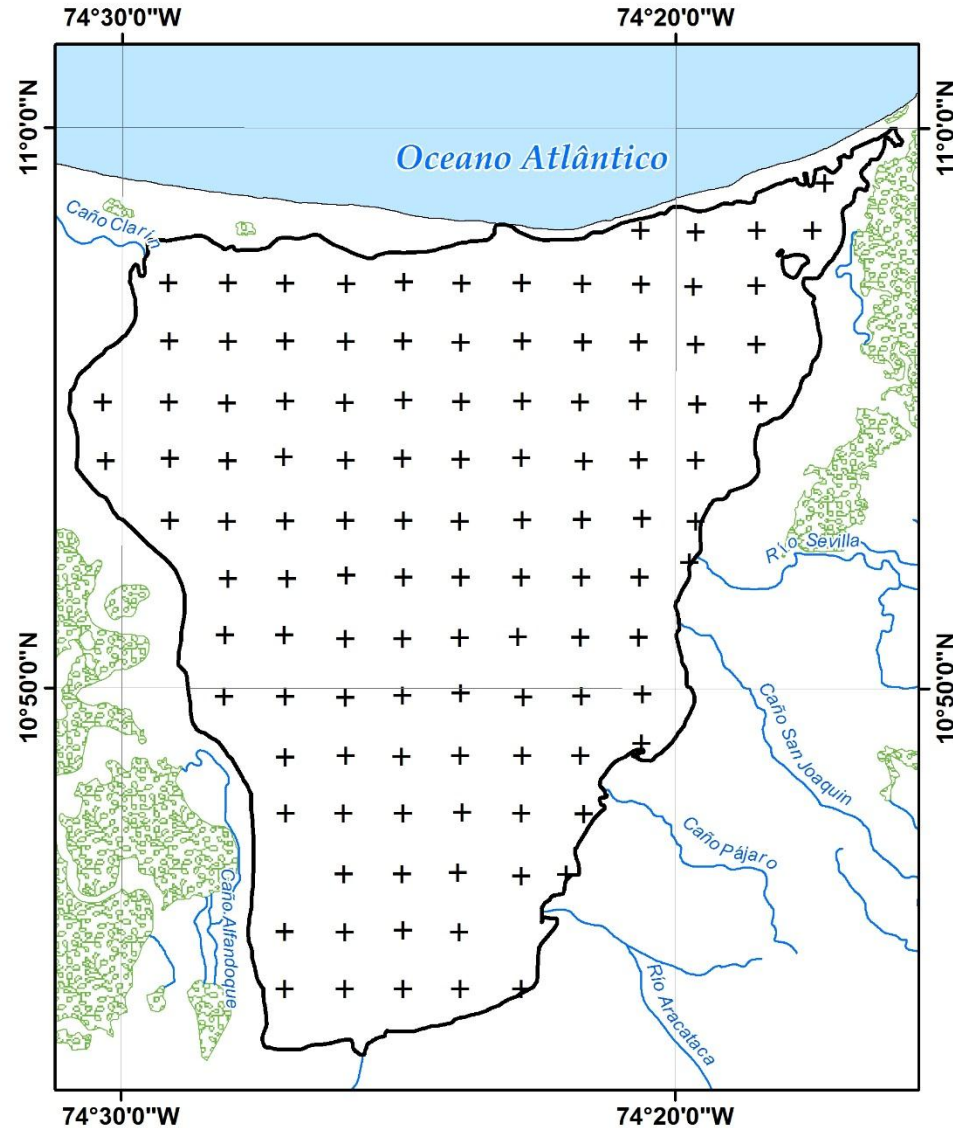


4.280 km² ecosistema
730 km² espelho de agua

Metodologia

Plano (desenho) Amostral

112 pontos amostrais



Metodologia

Variáveis

- Oxigênio dissolvido (mg/l)
- Profundidade (metros)
- Salinidade (ppm)
- Temperatura (°C)

Essas variáveis são considerados altamente influentes nos processos de produtividade primária e da biodiversidade dos ecossistemas aquáticos (Mateus *et al.*, 2008; Roldán G., & Ramirez J., 2008).

Metodologia

Etapas:

- 1) **Análise:** objetiva descrever a variabilidade espacial do fenômeno em estudo, denominada de *análise estrutural* ou *modelagem do semivariograma*.
- 2) **Inferência:** objetiva estimar valores de uma variável distribuída no espaço em locais não amostrados, denominada de *krigeagem*.

Metodologia

Cálculo do semivariograma experimental

Semivariograma omnidirecional => tolerância angular = 90°
direção de análise (do vetor **h**) não importa.

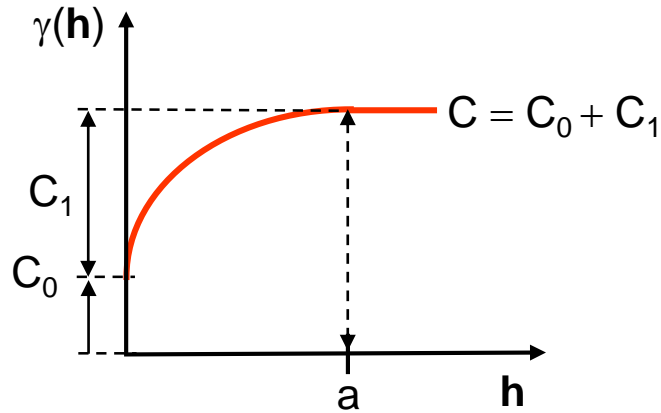
Semivariograma direcional => tolerância angular = 35°
direção de análise (0,45,90 ou 135°)

$$\hat{\gamma}(\mathbf{h}) = \frac{1}{2N(\mathbf{h})} \sum_{i=1}^{N(\mathbf{h})} [z(\mathbf{u}_i) - z(\mathbf{u}_i + \mathbf{h})]^2$$

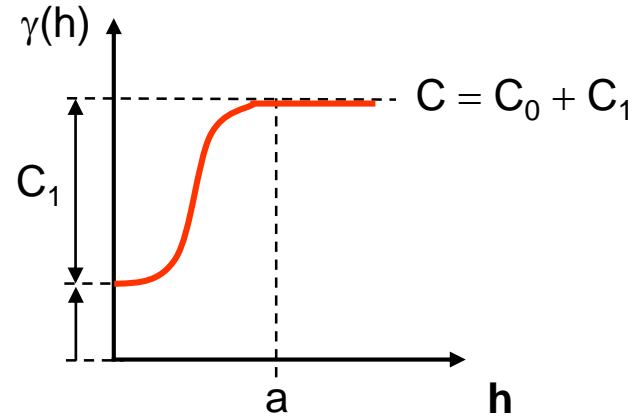
Metodologia

Modelo de ajuste

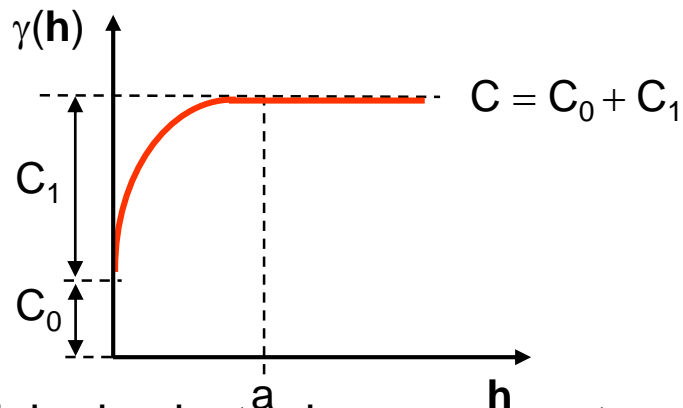
Modelo de ajuste esférico



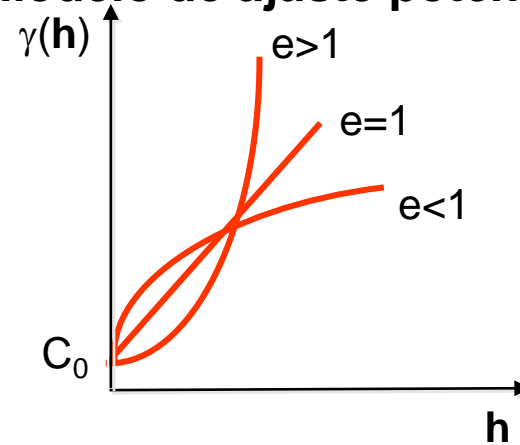
Modelo de ajuste gaussiano



Modelo de ajuste exponencial



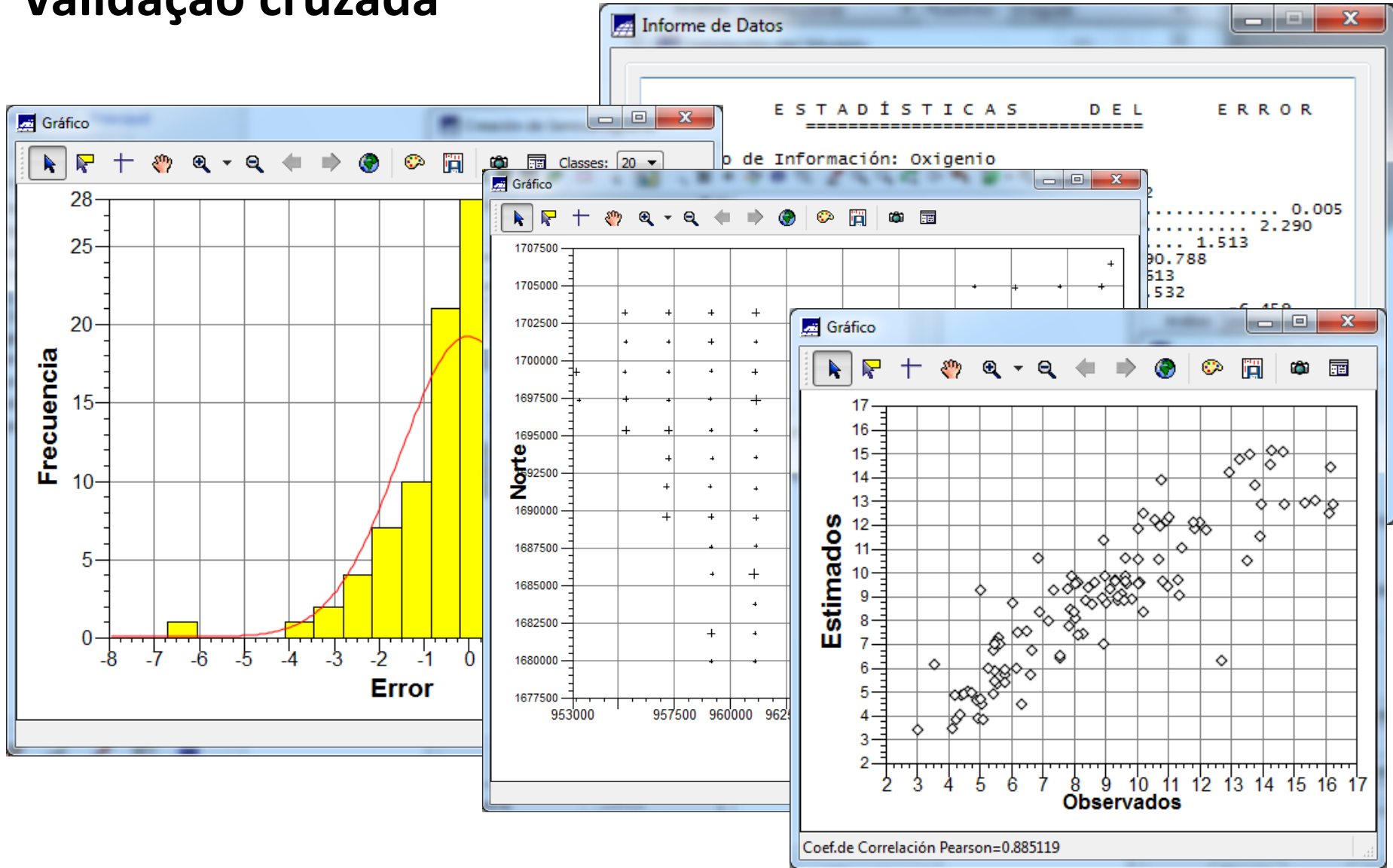
Modelo de ajuste potência



O modelo de ajuste deve representar o melhor possível o comportamento de $\gamma(h)$.

Metodologia

Validación cruzada



Metodologia

Krigeagem

Segundo *Journal* (1988): $\mathbf{K} \cdot \boldsymbol{\lambda} = \mathbf{k} \Rightarrow \boldsymbol{\lambda} = \mathbf{K}^{-1} \mathbf{k}$

$$\begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \alpha \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1n} & 1 \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2n} & 1 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ C_{n1} & C_{n2} & \dots & C_{nn} & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} C_{10} \\ C_{20} \\ \vdots \\ C_{n0} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Os elementos das matrizes de covariâncias são calculados da seguinte forma (*Journal*, 1988):

$$C_{ij} = C(\mathbf{0}) - \gamma(\mathbf{h}) = C_0 + C_1 - \gamma(\mathbf{h})$$

Substituindo os valores de C_{ij} nas matrizes encontram-se os pesos $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \text{e } \lambda_n$.

Estimador de Krigeagem (*Journal*, 1988): $Z_{\mathbf{x}_0}^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(\mathbf{x}_i)$

Variância de Krigeagem (*Journal*, 1988): $\sigma_{k_0}^2 = (C_0 + C_1) - \boldsymbol{\lambda}^T \mathbf{k}$

Resultados e Discussão

Estatísticas descritivas das variáveis físico-químicas

Variável	Media	Mínimo	Máximo	Coefficiente de variação
Oxigênio	8,86	3,03	16,29	0,366
Profundidade	1,48	0,25	2,50	0,242
Salinidade	17,61	13,03	34,95	0,162
Temperatura	29,47	26,00	33,20	0,072

Resultados e Discussão

Estatísticas descritivas das variáveis físico-químicas

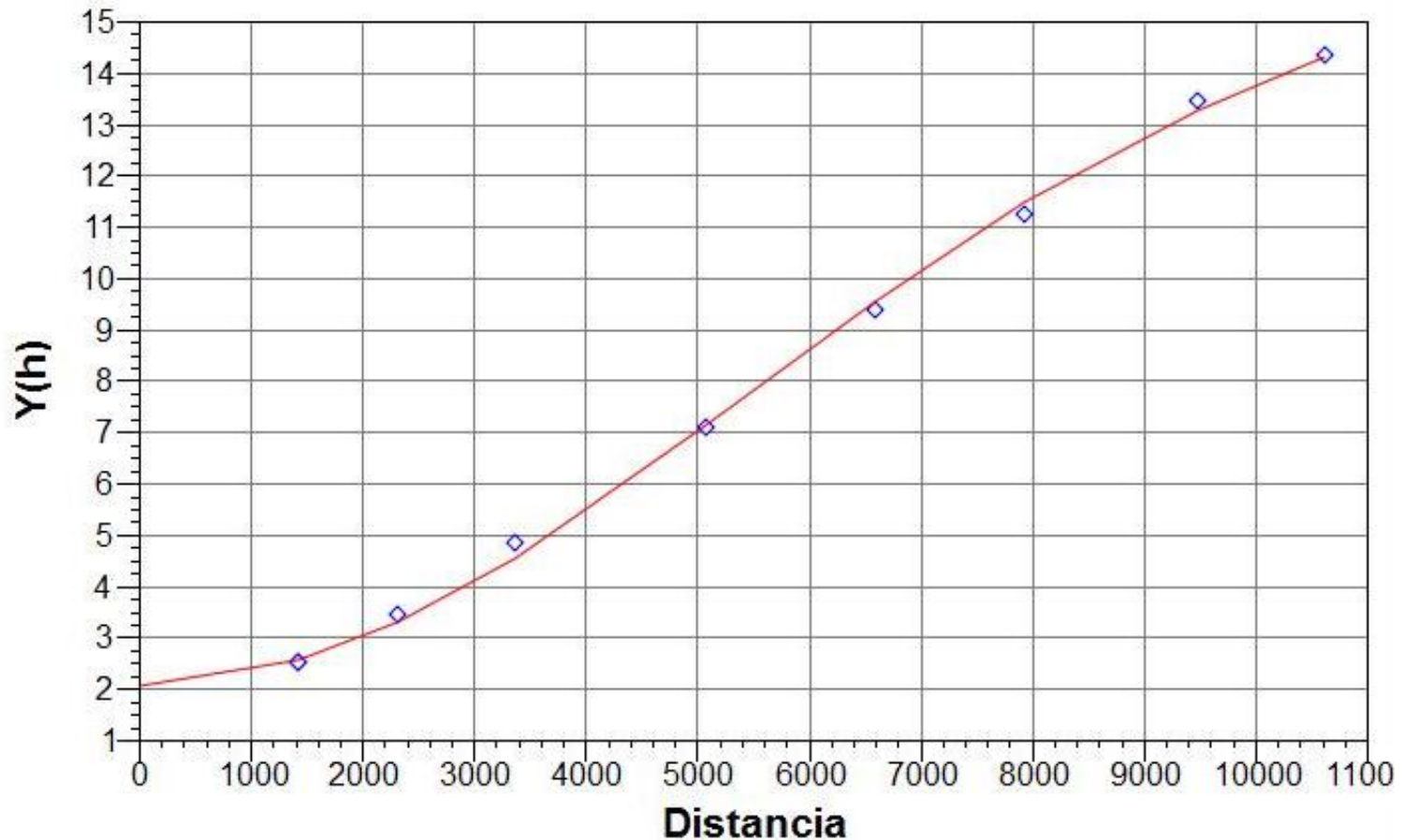
Variável	Media	Mínimo	Máximo	Coefficiente de variação
Oxigênio	8,86	3,03	16,29	0,366
Profundidade	1,48	0,25	2,50	0,242
Salinidade	17,61	13,03	34,95	0,162
Temperatura	29,47	26,00	33,20	0,072

Modelos teóricos ajustados aos semivariogramas

Variável	Modelo	Efeito Pepita	Patamar	Alcance (m)
Oxigênio	Gaussiano	0,47	15,14	17869
Profundidade	Gaussiano	0,07	0,15	31542
Salinidade	Spherical	1,54	9,47	14774
Temperatura	Gaussiano	0,23	16,61	26389

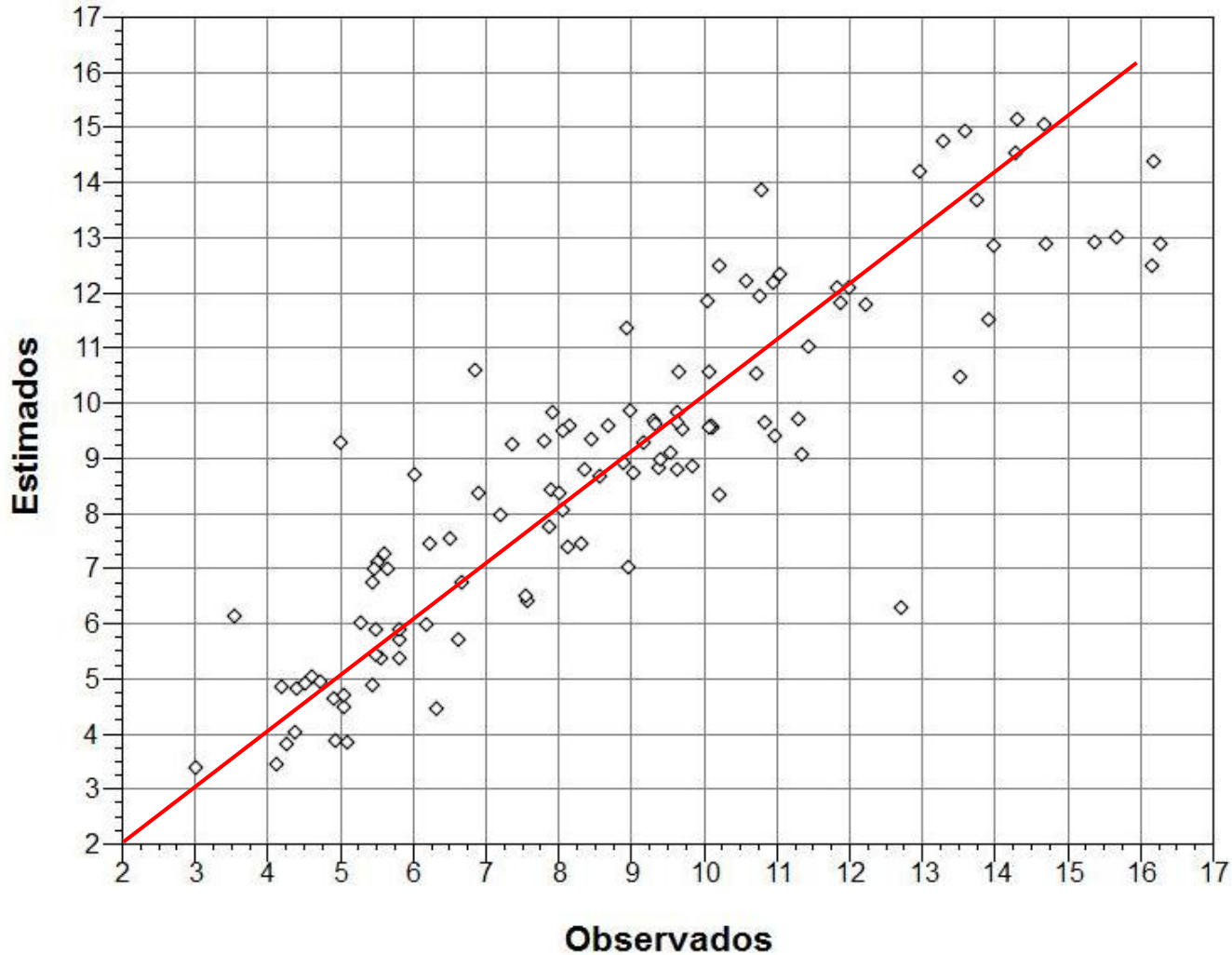
Resultados e Discussão

- **Oxigênio dissolvido**



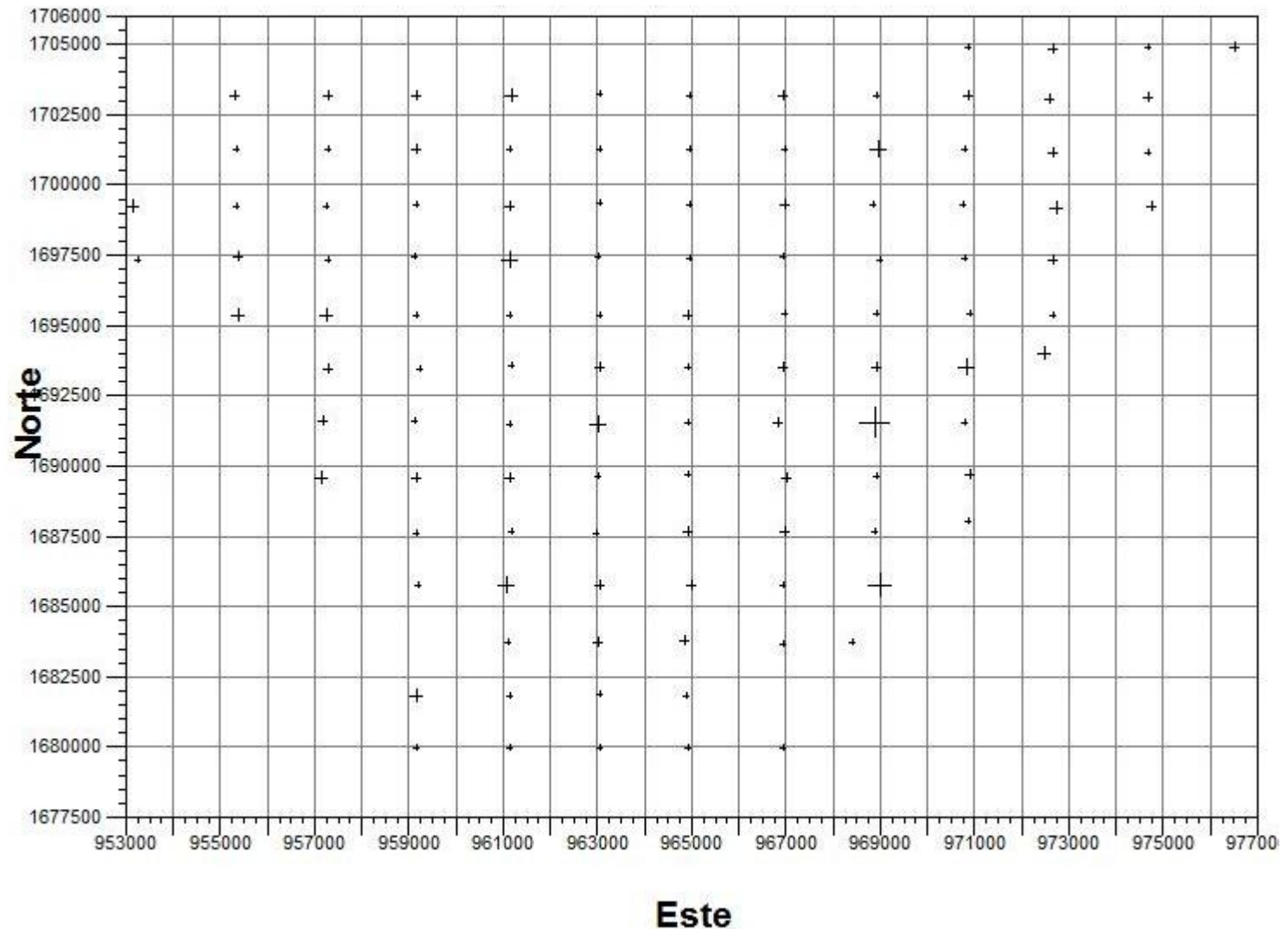
Resultados e Discussão

- **Oxigênio dissolvido**



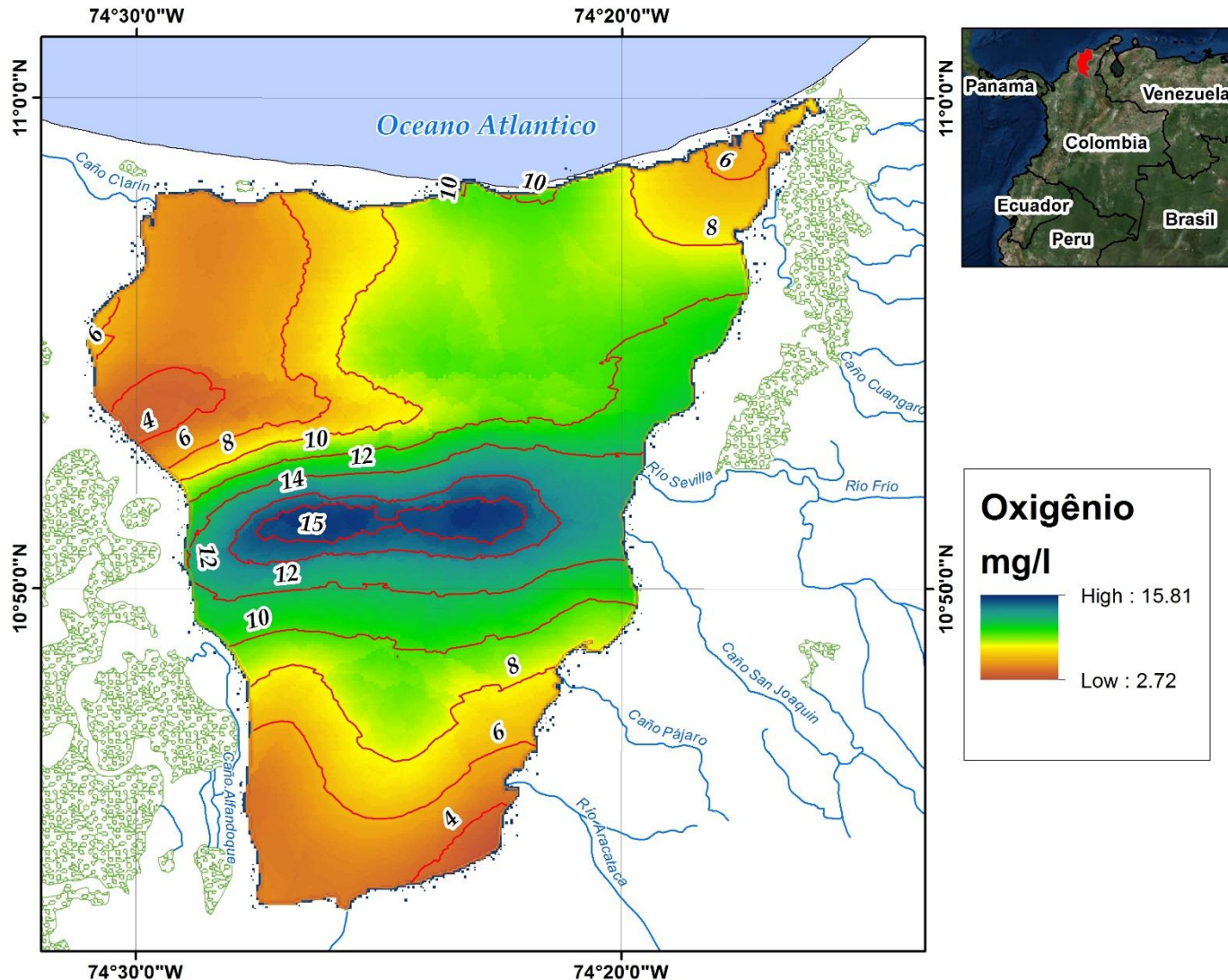
Resultados e Discussão

- **Oxigênio dissolvido**



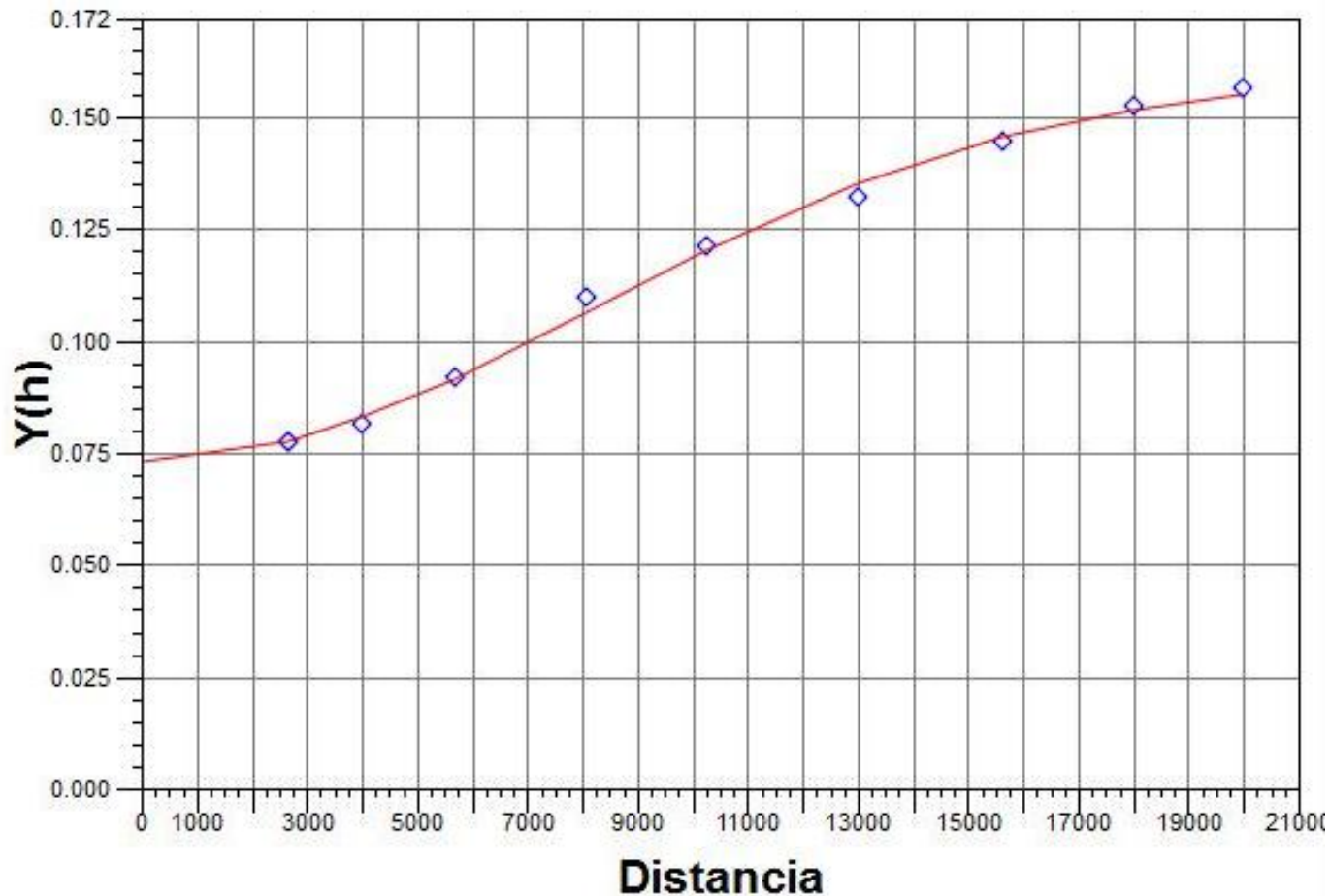
Resultados e Discussão

- Oxigênio dissolvido



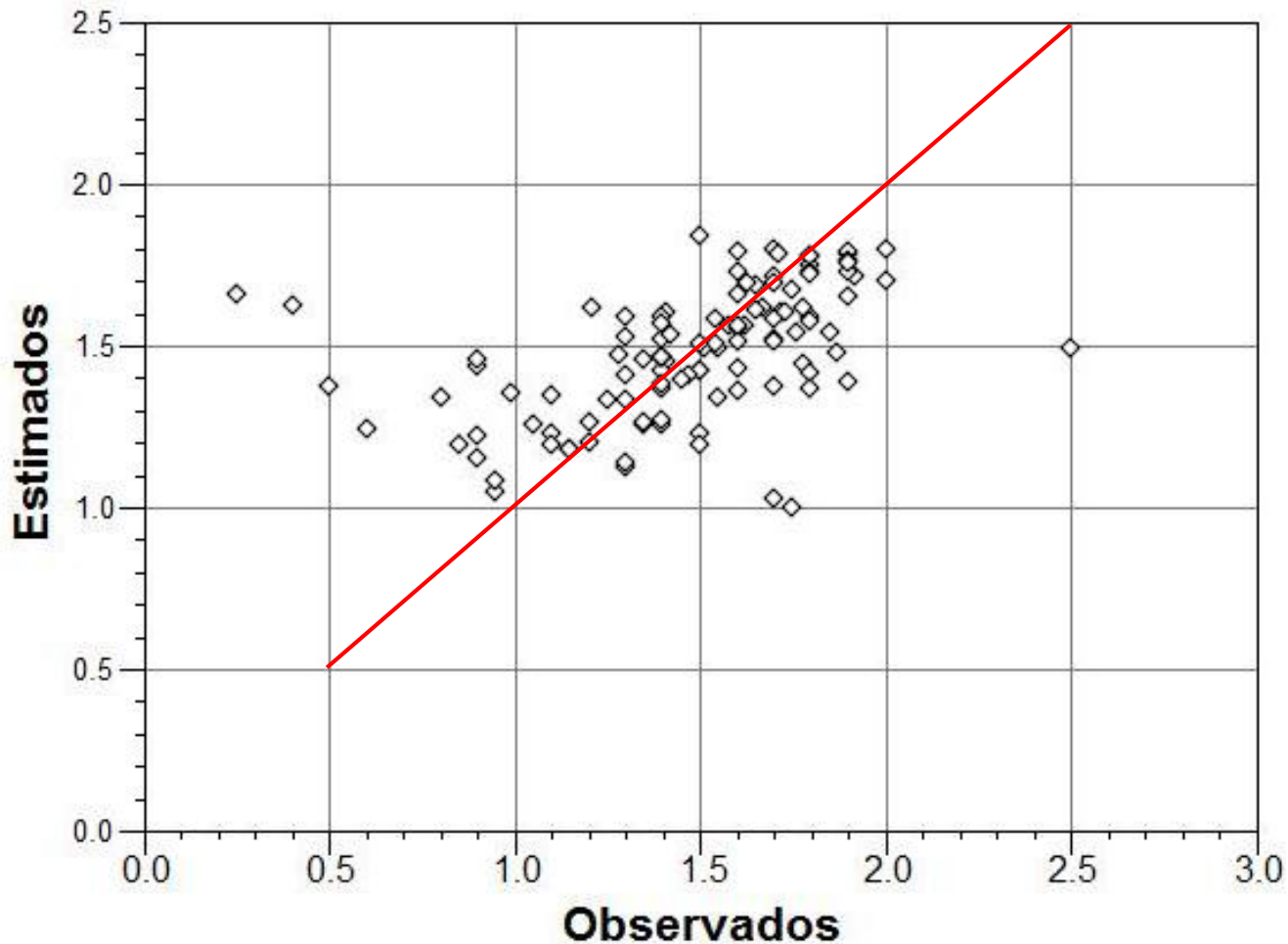
Resultados e Discussão

- Profundidade



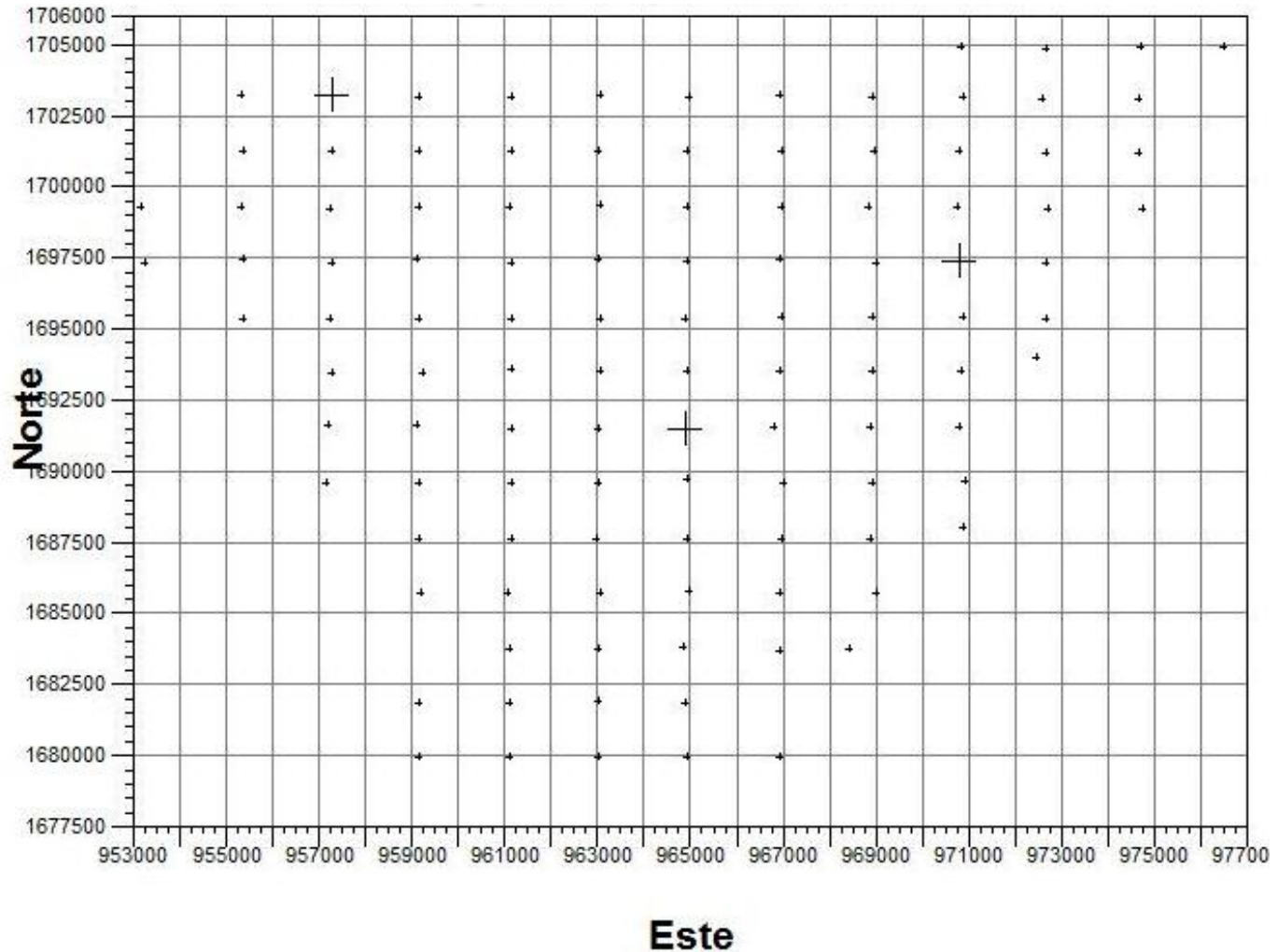
Resultados e Discussão

- **Profundidade**



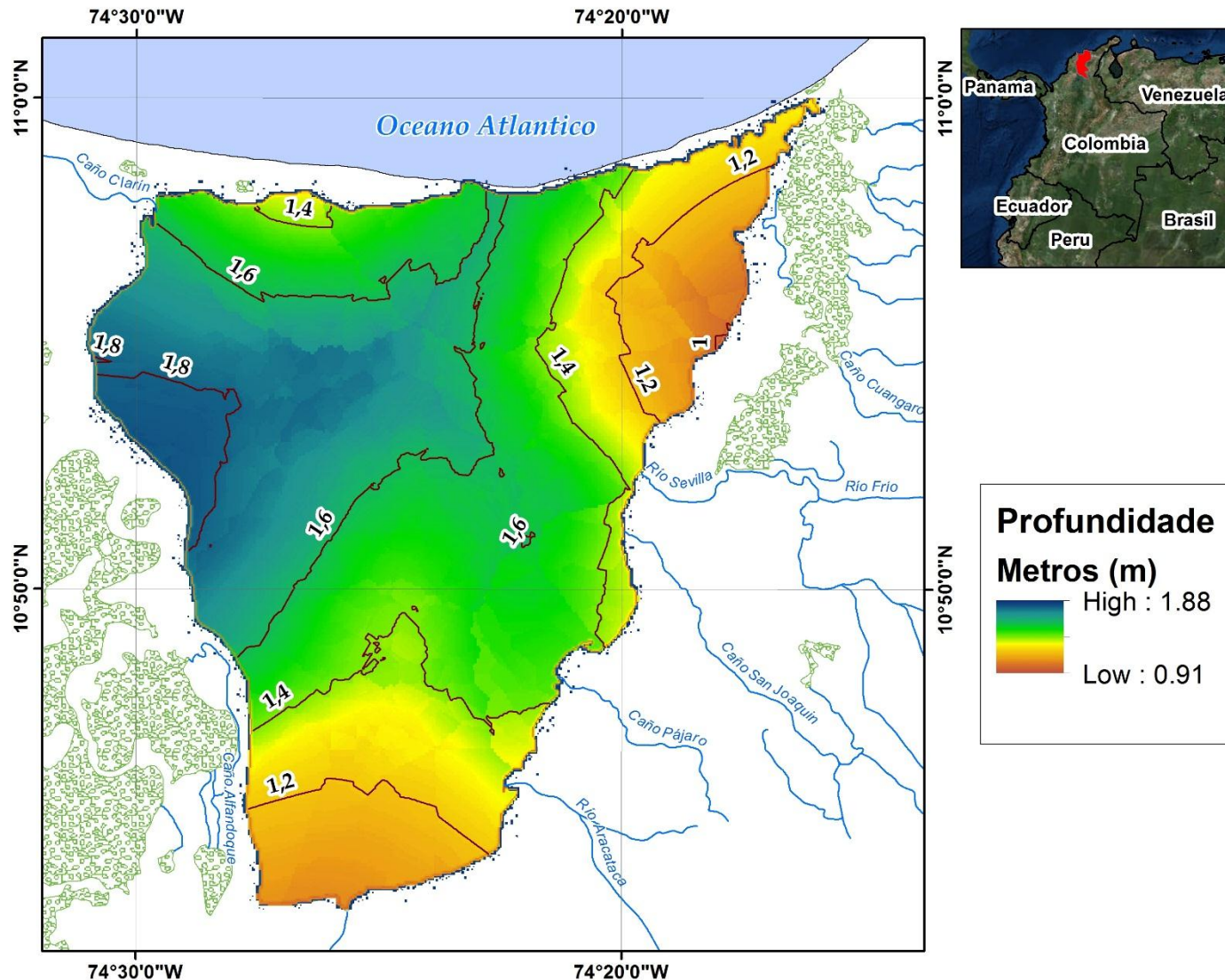
Resultados e Discussão

- **Profundidade**



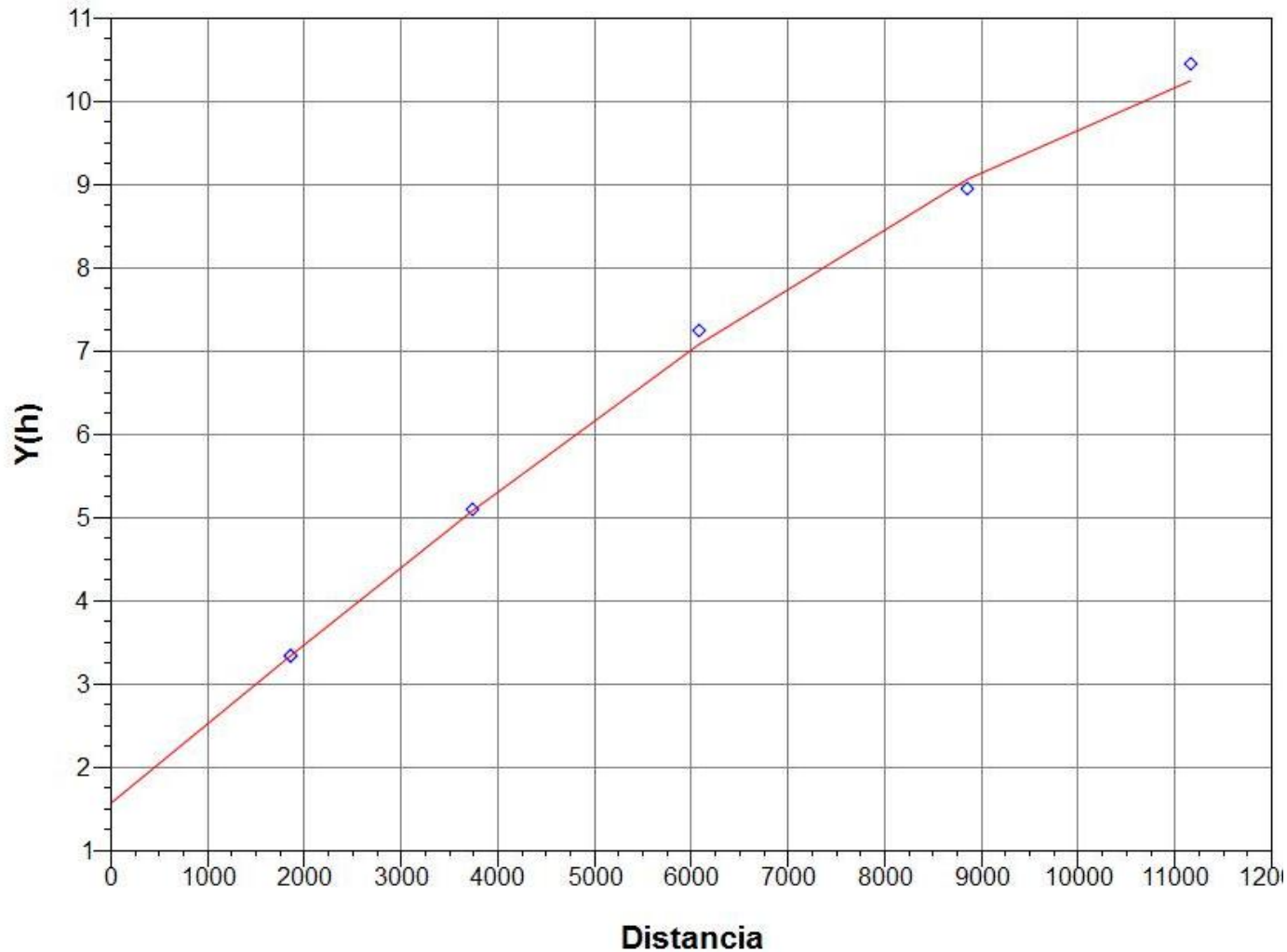
Resultados e Discussão

- Profundidade



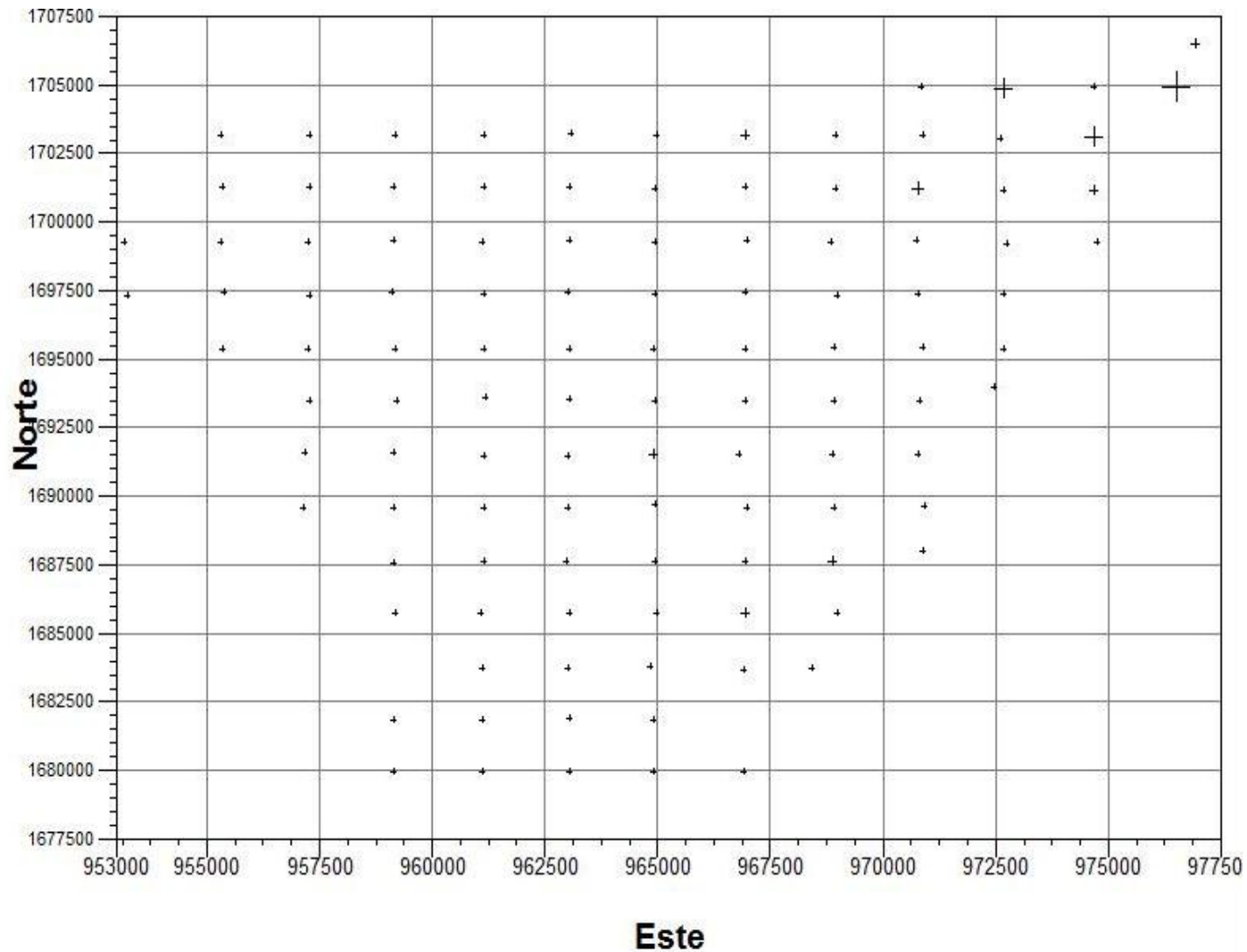
Resultados e Discussão

- Salinidade



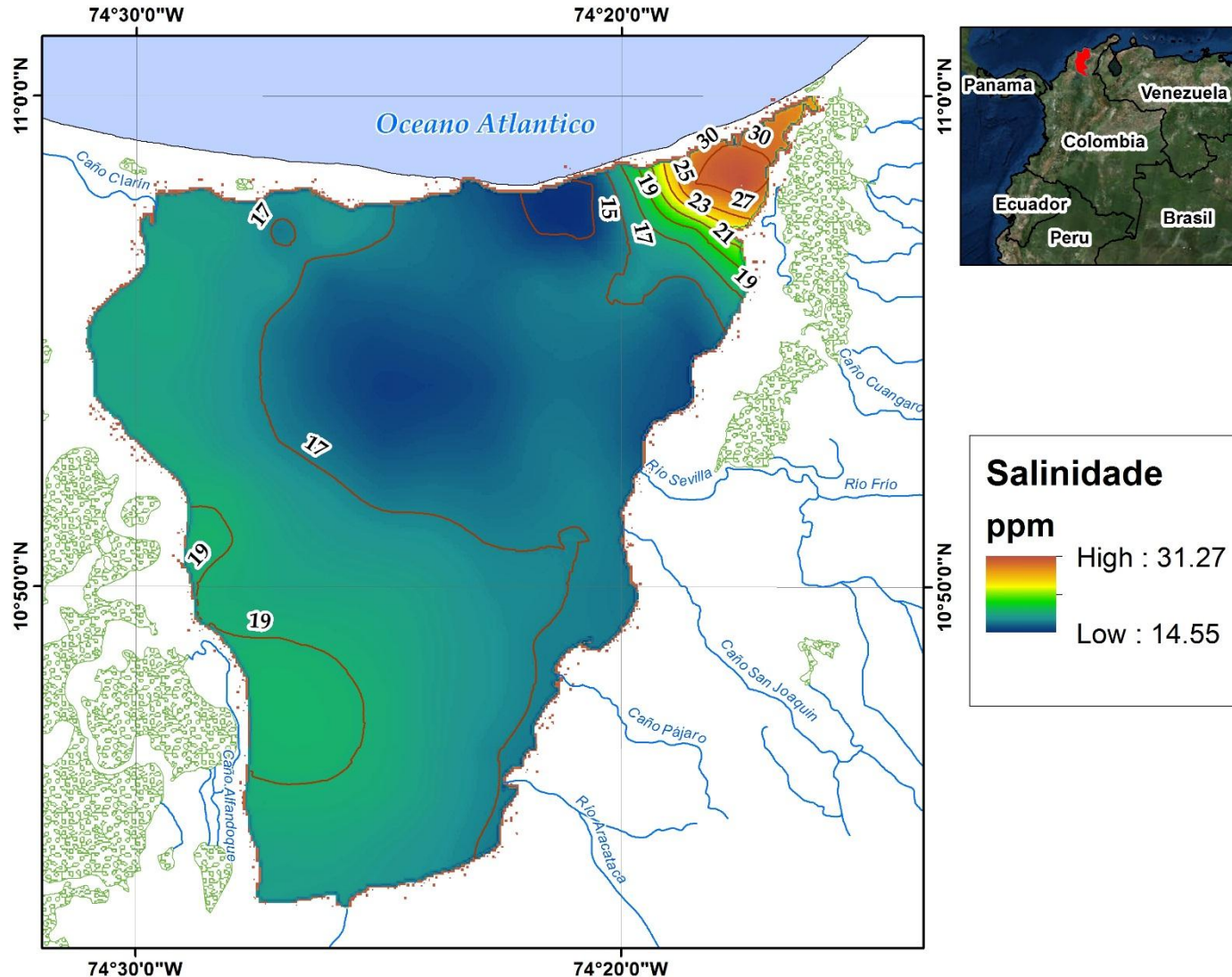
Resultados e Discussão

- Salinidade



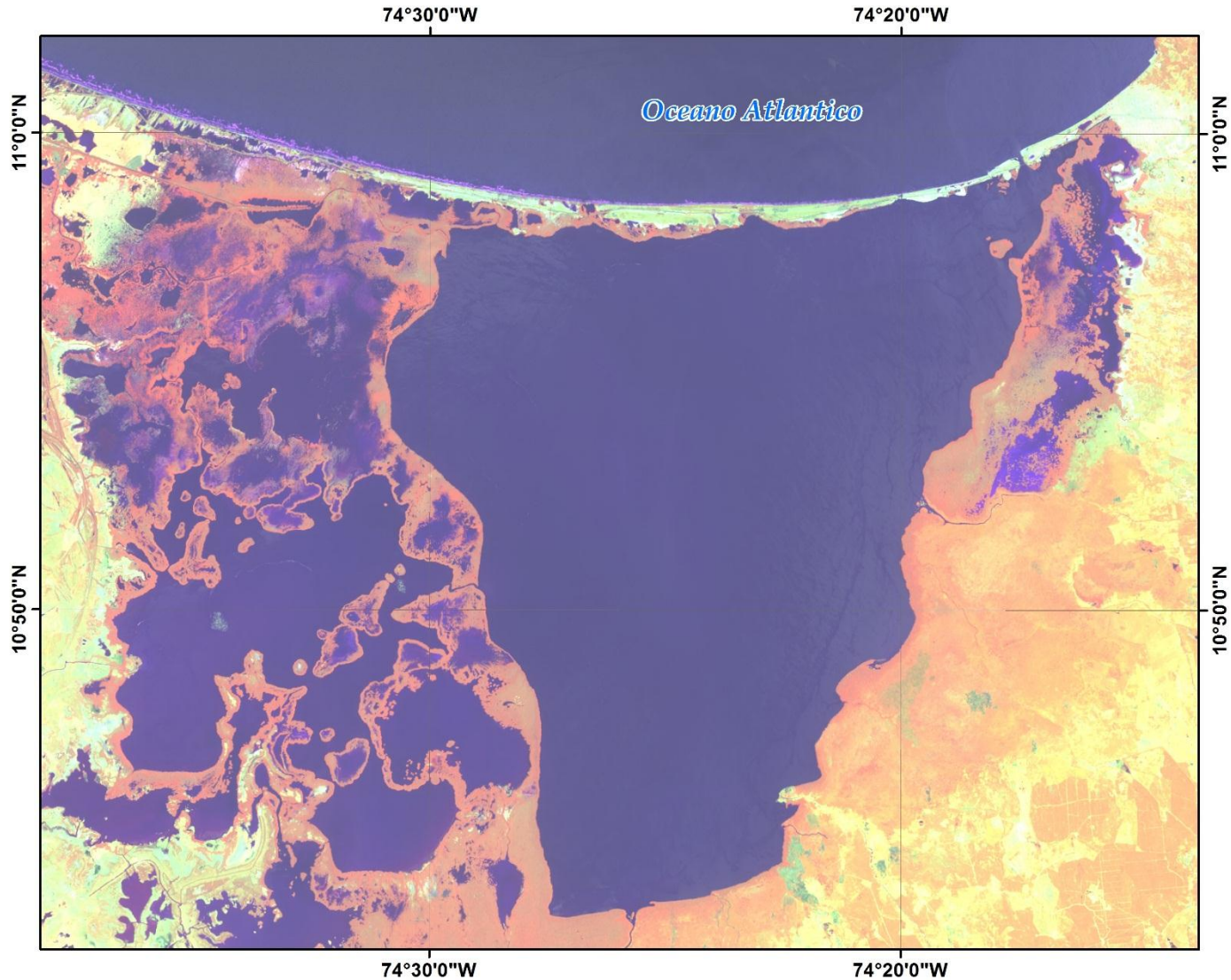
Resultados e Discussão

- Salinidade



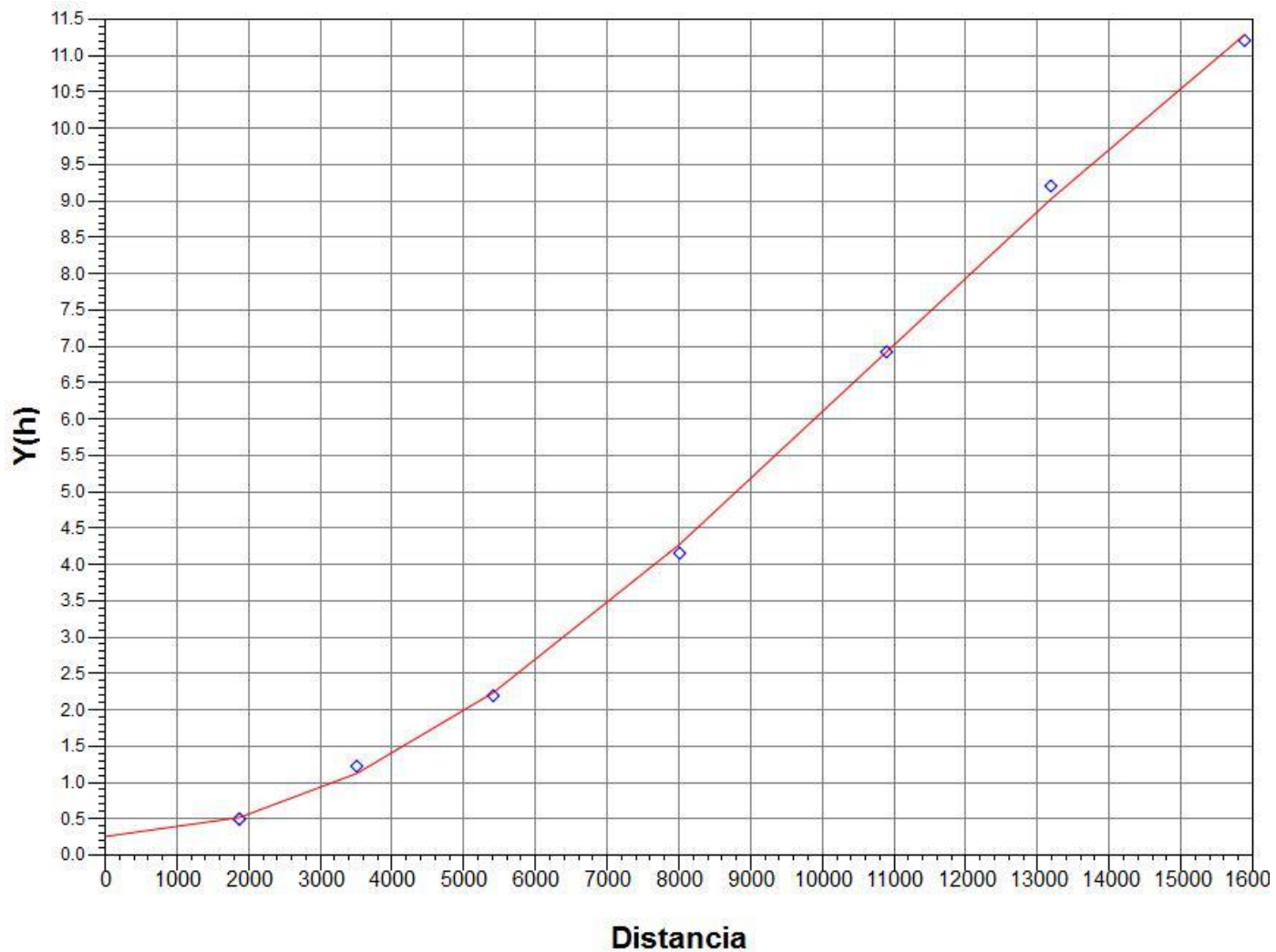
Resultados e Discussão

- Salinidade



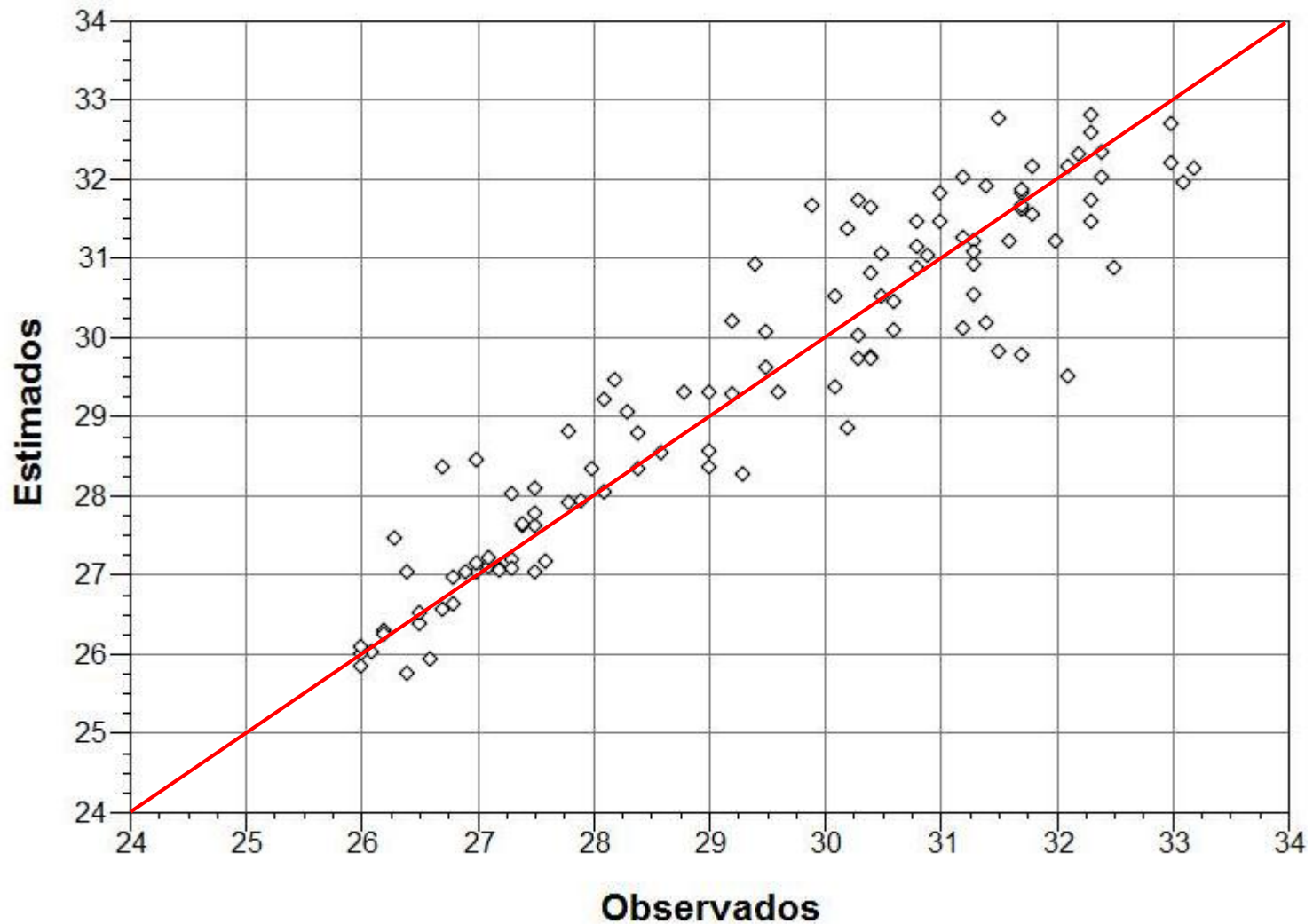
Resultados e Discussão

- **Temperatura**



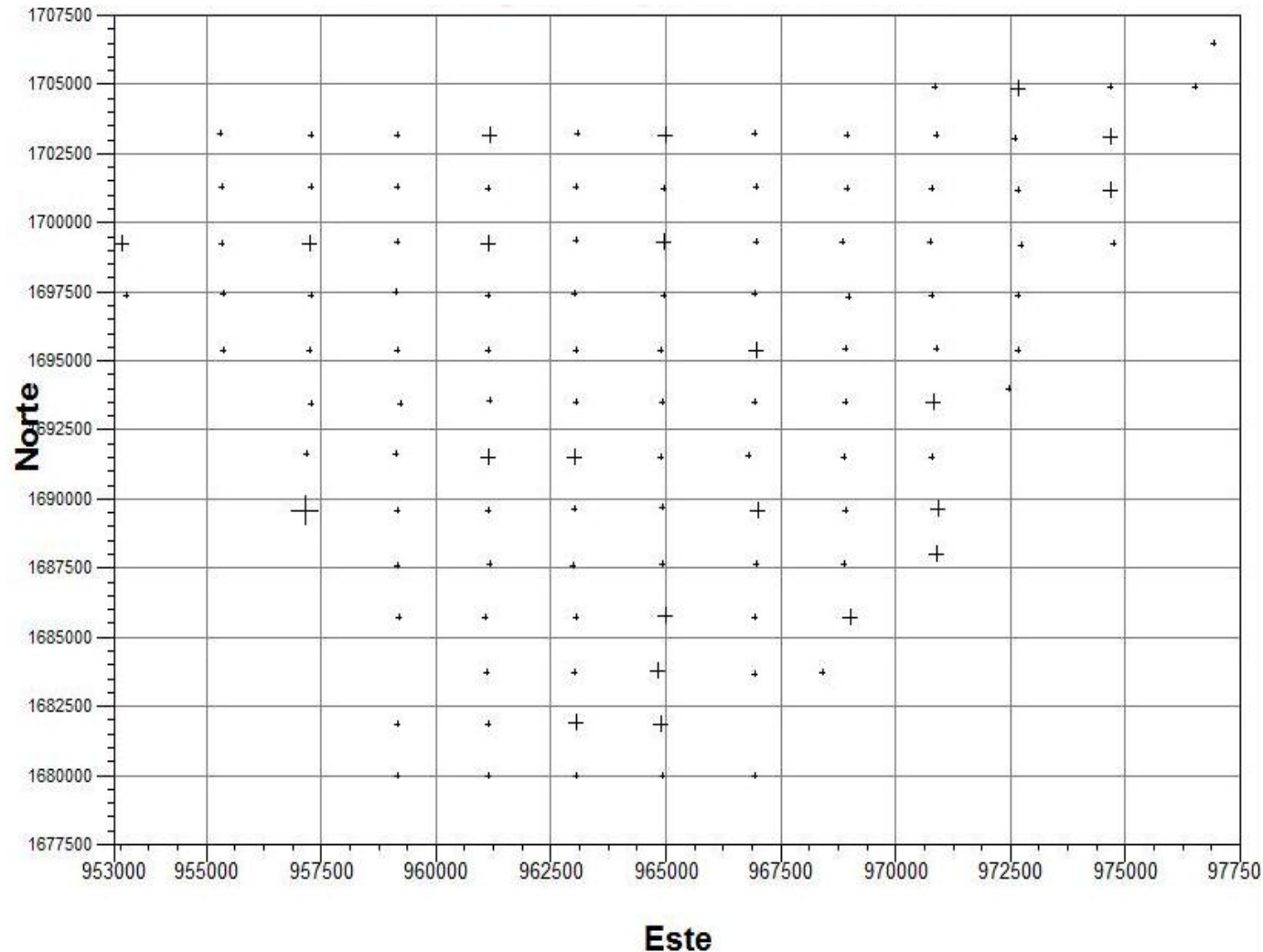
Resultados e Discussão

- **Temperatura**



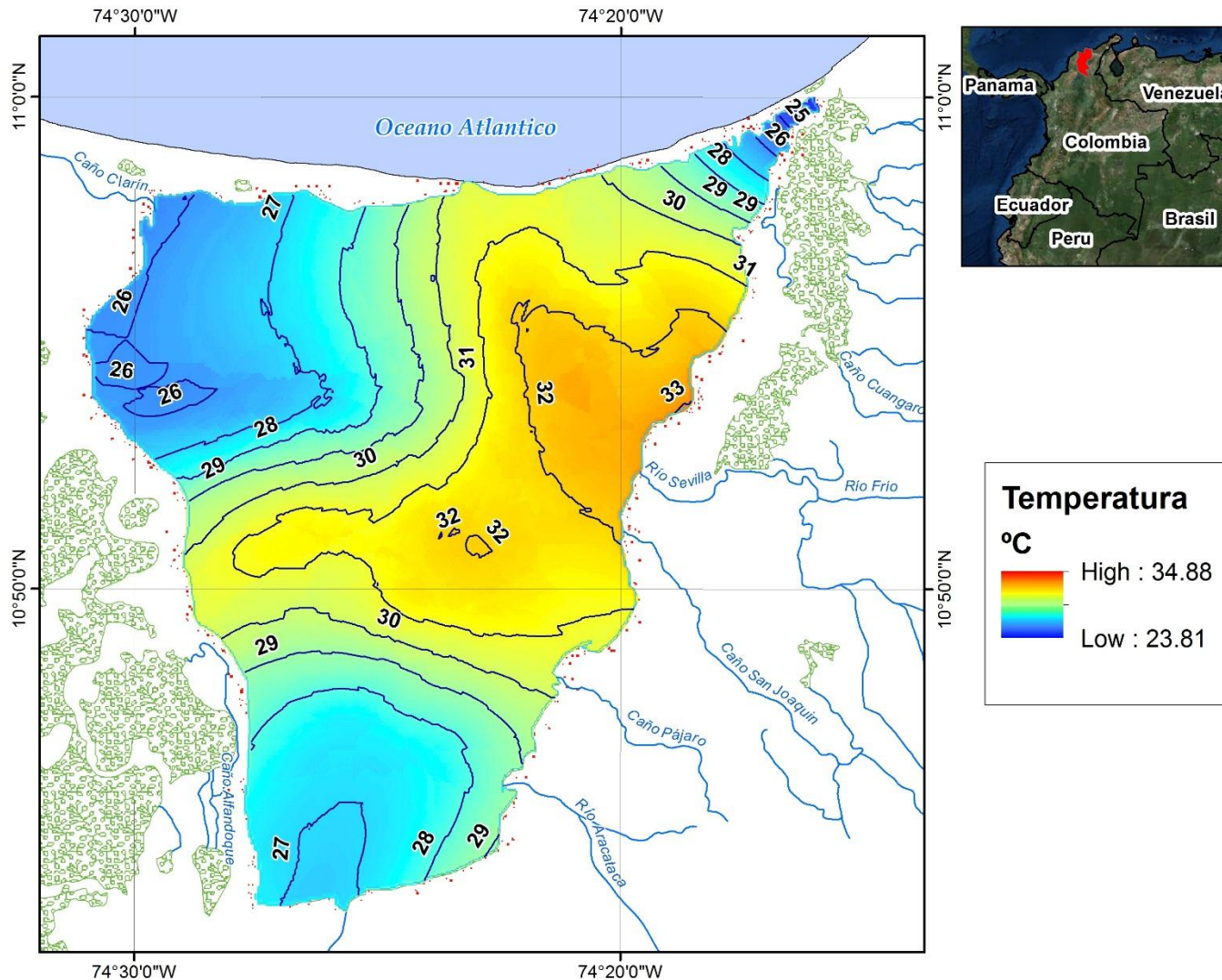
Resultados e Discussão

- **Temperatura**



Resultados e Discussão

- Temperatura



Conclusões

- As faixas encontradas nas semivariogramas ajustados indicam uma forte associação espacial. Este resultado confirma a necessidade de utilizar métodos geoestatísticos para o estudo de informação em sistemas estuarinos.
- As variáveis estudadas no estuário CGSM mostraram estacionariedade e por causa da existência de informações suficientes foi aplicada a técnica kriging (krigagem ordinária).
- Existe a possibilidade de implementar o cokrigagem para futuros estudos na área, reduzindo assim os custos na tomada de amostras com alta associação espacial com outras que podem ser registradas com mais intensidade.