



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
INSTITUTO INTERAMERICANO DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DEL AGUA



***“Modelo continental para estimar Sólidos Suspendidos
Totales en cuerpos superficiales de agua a partir de
Sensores Remotos”***

Tesis que para obtener el grado de
DOCTOR EN CIENCIAS DEL AGUA

Presenta:

M. en C. A. Alejandro Cruz Retana

TUTOR ACADÉMICO:

Dr. Carlos Roberto Fonseca Ortiz

TUTORES ADJUNTOS:

Dra. Rocío Becerril Piña

Dr. Miguel Ángel Gómez Albores

Toluca, México, diciembre 2023

RESUMEN

La presente investigación se enfoca en el diseño de modelos regionales para estimar los sólidos suspendidos totales (SST) a partir de los sensores remotos. Los sensores utilizados en la presente investigación corresponden a Landsat y Sentinel 2A ya que brindan a) correspondencia de umbrales de longitud de onda (algunas bandas), b) estimaciones concomitantes de los SST, etc. c) estimación de SST con alta resolución espacial (caso de Sentinel) en estudios de cuerpos de aguas superficiales. Cabe destacar que se eligió este parámetro de calidad del agua (PCA) debido a a) disponibilidad de información, b) es un PCA que proporciona información relevante de la calidad del agua a nivel físico y c) presenta resultados cercanos a la realidad a partir de su estudio con sensores remotos. Para lograr lo anterior se recolectaron datos de 42 cuerpos de agua (CA) con estadísticas representativas, disponibilidad de imágenes, modelos locales y posteriormente se extrajo una muestra estratificada de cada CA para el tratamiento de los datos. Con base en lo anterior, se obtuvieron los datos puntuales de reflectancia y SST de los cuerpos de agua. A partir de lo anterior, por medio del análisis de *Hierarchical Clusters Analysis* y análisis de correspondencia (evaluación por pares) se encontraron 8 modelos regionales. La modelación fue consistente para generar estimaciones de SST (Nota: se obtuvo un grupo de cuerpos de agua 9 que fue considerado para validación de los 8 modelos regionales debido a la complejidad en su modelación).

Una vez obtenidos los grupos locales por *Hierarchical Clusters Analysis* bajo la técnica de Ward y análisis de correspondencia fueron evaluados según la dispersión presentada en los datos y posteriormente se construyeron su respectivo modelo regional para cada uno de ellos. Los modelos regionales fueron calibrados a partir de datos de entrada, que fueron sometidas a pruebas estadísticas de significancia (p-value), colinealidad, homocedasticidad, normalidad e inflación de la varianza-FIV). De manera adicional, se analizó la pertinencia de asociación de los modelos locales en los respectivos clústers de acuerdo con las bandas espectrales que mayor sensibilidad presentan para analizar SST, que van desde la B1 (nm) a la B5 (nm). Los 8 modelos regionales presentan una capacidad explicativa aceptable $R^2 \geq 0.79$, $RMSE \leq 64.2$ mg/L, $E \geq 0.8$ de los modelos regionales. Seis de los cuales corresponden a modelos no lineales y 2 lineales transformados para generar las estimaciones. En el modelo regional 1 y 8, muestran una función por segmentos debido al ajuste en valores pequeños de reflectancia, pero en general se observaron que la nube de puntos se mantiene paralelo en los valores medidos y estimados en el gráfico de correlación. En relación con el resto de los modelos regionales (2-7) solo presentan una segmentación para explicar a los SST con una capacidad explicativa adecuada ($R^2 \geq 0.79$), y los datos observados en comparación con los estimados indican que las concentraciones son significativas en el estudio.

Por otro lado, los modelos regionales fueron caracterizados en función de algunas variables ambientales como la temperatura ($T_{\min}$, $T_{\max}$, T_{prom}), vapor de agua (VAPA), temperatura ambiental de la superficie de agua (TASA), altitud y dinámica del agua (DA). Esta caracterización tuvo como fin asociar cuerpos de agua a uno de los modelos regionales obtenidos. En esta etapa, se realizaron pruebas con 13 cuerpos de agua, 5 con modelos de regresión diseñada por autores y 7 con nuestras georreferenciadas correspondiente al grupo 9 de cuerpos de agua. En 5 cuerpos de agua se observó una capacidad explicativa de $R^2 \geq 0.7$, la cual indica resultados favorables a la hipótesis propuesta en el presente estudio.

Palabras clave: sensores remotos, regresiones múltiples, modelos regionales, caracterización ambiental, clústers, aguas superficiales

ABSTRACS

The present research focuses on the design of regional models to estimate total suspended solids (TSS) from remote sensors. The sensors used in the present investigation correspond to Landsat and Sentinel 2A since they provide a) correspondence of wavelength thresholds (some bands), b) concomitant estimates of SSTs, etc. c) SST estimation with high spatial resolution (Sentinel case) in studies of surface water bodies. It should be noted that this water quality parameter (WQP) was chosen due to a) availability of information, b) it is a WQP that provides relevant information on water quality at a physical level and c) it presents results close to reality based on its study with remote sensors. To achieve the above, data were collected from 42 bodies of water (WB) with representative statistics, availability of images, local models and subsequently a stratified sample was extracted from each CA for data treatment. Based on the above, the specific reflectance and TSS data of the water bodies were obtained. From the above, through the analysis of Hierarchical Cluster Analysis and correspondence analysis (peer evaluation), 8 regional models were found. The modeling was consistent to generate SST estimates (Note: a group of 9 water bodies was obtained that was considered for validation of the 8 regional models due to the complexity in their modeling).

Once the local groups were obtained by *Hierarchical Clusters Analysis* under the Ward technique and correspondence analysis, they were evaluated according to the dispersion presented in the data and subsequently their respective regional models were built for each of them. The regional models were calibrated from input data, which were subjected to statistical tests of significance (p-value), collinearity, homoscedasticity, normality and variance inflation-VIF). Additionally, the relevance of the association of the local models in the respective clusters was analyzed according to the spectral bands that have the greatest sensitivity to analyze TSS, ranging from B1 (nm) to B5 (nm).

The 8 regional models present an acceptable explanatory capacity $R^2 \geq 0.79$, $RMSE \leq 64.2$ mg/L, $E \geq 0.8$ of the regional models. Six of which correspond to non-linear models and 2 linear models transformed to generate the estimates. In regional models 1 and 8, they show a segmental function due to the adjustment to small reflectance values, but in general it was observed that the models follow a trend at 45° according to the correlation graph. In relation to the rest of the regional models (2-7), they only present a segmentation to explain the TSS with an adequate explanatory capacity ($R^2 \geq 0.79$), and the observed data in comparison with the estimates indicate that the concentrations are significant in the study.

On the other hand, the regional models were characterized based on some environmental variables such as temperature (Tmin, Tmax, Tprom), water vapor (VAPA), ambient temperature of the water surface (TARA), altitude and water dynamics (WD). The purpose of this characterization was to associate bodies

of water with one of the regional models obtained. In this stage, tests were carried out with 13 bodies of water, 5 with regression models designed by authors and 7 with our georeferenced ones corresponding to group 9 of water bodies. In 5 bodies of water, an explanatory capacity of $R^2 \geq 0.7$ was observed, which indicates favorable results for the hypothesis proposed in the present study.

Keywords: remote sensing, multiple regressions, regional models, environmental characterization, clusters, surface waters.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA	V
RESUMEN.....	VI
ABSTRACS	VIII
ÍNDICE	1
ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
Nomenclatura, acrónimos y unidades	9
Publicaciones científicas	12
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 Justificación, aportación científica, tecnológica y contribución social	15
1.2 Hipótesis.....	16
1.3 Objetivos	16
1.3.1 Objetivo general.....	16
1.3.2 Objetivos específicos	16
CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE	17
2.1. Interacción de las variables ambientales con los SST	23
CAPITULO 3. MARCO TEÓRICO	26
3.1 Desarrollo de modelos.....	26
3.1.1 Datos de entrada (pruebas).....	26
3.1.2 Técnica de Ward	28
3.1.3 Análisis de correspondencia y regresiones.....	29
3.1.4 Validación cruzada.....	30
3.2 Caracterización.....	32
3.2.1 Variables ambientales e hidrológicos.....	33
3.2.2 Comportamiento de las variables ambientales con los SST	35
3.2.3 Diferencias significativas	37
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	38
4.1 Uniformizar información (etapa 1)	39
4.2 Pretratamiento de imágenes satelitales y estimación de SST (etapa 2).....	45

4.3. Caracterización de reflectancia y SST (etapa 3)	47
4.3.1 Análisis jerárquico de clústers	47
4.3.2 Análisis de correspondencia entre SST y reflectancia	48
4.3.3 Análisis de correspondencia.....	49
4.4 Calibración de modelos regionales (etapa 4)	52
4.5 Caracterización de modelos regionales por variables ambientales	54
CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
5.1 Uniformización de información (etapa 1)	58
5.2 Pretratamiento de imágenes satelitales (etapa 2).....	63
5.3 Caracterización de reflectancia y SST	64
5.3.1 Comportamiento de las estadísticas por dinámica del agua	71
5.4. Análisis jerárquico de clústers y de correspondencia de reflectancia vs SST (etapa 3).....	73
5.4.1 Clusters por hierarchical Clusters Analysis	73
5.4.2 Análisis de correspondencia.....	75
5.5 Selección de bandas para modelos regionales (etapa 4)	77
5.6 Características de los modelos regionales (etapa 5).....	81
5.6.1 Selección de modelo regional con variables ambientales cuerpo de agua	86
5.6.2 Tarjetas de validación por modelo regional	87
5.7 Pruebas del modelo a través de otros sitios.....	106
CAPÍTULO 6. RECOMENDACIONES	112
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES.....	115
8. BIBLIOGRAFÍA	117
GLOSARIO	130
MATERIALES Y RECURSOS	133
ANEXO I. Corrección atmosférica	134
A I.1. Tipos de latitudes para corrección atmosférica bajo FLAASH	134
A I.2 Tipo de aerosoles en el ambiente	134
A I.3. Características del modelo FLAASH.....	134
A I.4. Tipos de pigmentos de las algas.....	135
ANEXO II. Características para la corrección atmosférica tipo FLAASH.....	135
ANEXO III. Características de la corrección atmosférica tipo DOS	136
ANEXO IV. Manipulación de datos con Real Near Time of Data	136

ANEXO V. Comparación de TCA estimado directamente en campo de las boyas y la TSM por satélite	137
ANEXO VI. Términos de comprobación de las estimaciones de TCA in situ y por satélite.....	137
ANEXO VII. Niveles de información de los modelos de temperatura a través del sensor MODIS-AQUA.....	138
ANEXO VIII. FIRMAS ESPECTRALES ESTRATIFICADAS POR CUERPO DE AGUA CONSIDERADO EN EL ESTUDIO.....	139
ANEXO IX. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL Y DISPERSIÓN POR CA.....	143
ANEXO X. COEFICIENTES DE VARIACIÓN POR LONGITUD DE ONDA.....	147
Anexo XI. Estadística para la formación de regiones de reflectancia.....	149
A.XI.1 Medida de aglomeración.....	150
A.XI.2 Dendograma y número de clústers conformados	151
ANEXO XII. Significancia asintótica a nivel mensual de las variables ambientales por cada modelo regional.....	152
Anexo XIII. Validación de los supuestos de los modelos regionales	153
XIII.1 Análisis del reporte de regresión para el MR1	153
XIII.2 Análisis del reporte de regresión para el MR2	155
XIII.3 Análisis del reporte de regresión para el MR3	156
XIII.4 Análisis del reporte de regresión para el MR4	157
XIII.5 Análisis del reporte de regresión para el MR5	158
XIII.6 Análisis del reporte de regresión para el MR6	159
XIII.7 Análisis del reporte de regresión para el MR7	160
XIII.7 Análisis del reporte de regresión para el MR8	161
Anexo XIV. Resultados de los <i>i</i> grupos de la validación cruzada (<i>i-fold cross-validation</i>).....	163
XIV.1 Promedio de los coeficientes de la validación cruzada para el MR1	163
XXI.2 Promedio de los coeficientes de la validación cruzada para el MR2	163
XIV.3 Promedio de los coeficientes de la validación cruzada para el MR3	164
XIV.4 Promedio de los coeficientes de la validación cruzada para el MR4	164
XVI.5 Promedio de los coeficientes de la validación cruzada para el MR5	164
XIV.6 Promedio de los coeficientes de la validación cruzada para el MR6	164
XIV.7 Promedio de los coeficientes de la validación cruzada para el MR7	165
XIV.8 Promedio de los coeficientes de la validación cruzada para el MR8	165
ANEXO XV. DISTRIBUCIÓN ESPECIAL DE LAS VA A NIVEL MENSUAL	166
XV.1 Precipitación.....	166

XV.2 TASA	167
XV.3 VAPA	168
XV.4 Tmín	169
XV.5 Tprom	170
XV.6 TMáx	171
XV.7 RadSol	172
XV.8 Vientos	173
XV.9 Altitud.....	174
ANEXO XVI. Valores promedios de variables ambientales por cuerpo de agua.....	175
ANEXO XVII. CÁLCULOS DE SIGNIFICANCIA DE VA Y REFLECTANCIAS	184
ANEXO XVIII. MEDIA ARITMÉTICA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE VA Y REFLECTANCIA POR MODELO REGIONAL.....	187
ANEXO XIX. MUESTREOS DE CUERPOS DE AGUAS PARA VALIDACIÓN	188
Anexo XX. Interpolación de resultados con cuerpos de agua de otras zonas de estudio.....	191
XX.1 Prueba con el CA 19.....	191
XX.2 Prueba con CA 18	192
XX.3 Prueba con el CA 81.....	193
XX.4 Prueba con CA 82	194
XX.5 Prueba con CA 156	195
XX.6 Prueba con CA 34	196
XX.6 Prueba con CA 2	197
ANEXO XXI. OTRAS METODOLOGIAS RECOMENDABLES PARA ANALISIS FUTUROS	198
A.XXI.1. Análisis Componentes Principales	198
ANEXO XXII. Relación de latitud con TSS.....	200
ANEXO XXIII. CARACTERIZACION LATIDUNAL	201
ANEXO XXIII. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL A NIVEL MENSUAL.....	202
APÉNDICE: TABLAS ESTADÍSTICAS	207

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Firmas espectrales típicas del agua, agua con alto contenido de SST y agua con mínima cantidad de SST, Cruz, 2019; Chang et al., 2015; Sundabarabalan et al., 2020).	17
Figura 2.2. Profundidades en la que normalmente se encuentran los PCA (Elaboración propia con base en Metcalf & Eddy, 2003) y efecto de los nutrientes en el cambio de la calidad del agua, estado del ecosistema (Modificado de Cruz, 2019).	18
Figura 2.3. Estimación de SST con diferentes modelos de regresión utilizando el sensor Landsat 8 OLI (modelos con mayor peso en las longitudes de 590 nm y 710 nm).	22
Figura 2.4. Comportamiento de los SST de aguas lénticas y lólicas en el ambiente en función de la hidrodinámica del sitio Chang et al., (2017).	23
Figura 2.5. Variación de la reflectividad en función de los sólidos suspendidos totales (Doña, 2016).	24
Figura 3.1. a) modelos con distribución normal y con deficiencia de normalidad en la estimación de los SST. b) Validación cruzada en los modelos de regresión.	27
Figura 3.2. Set de entrenamiento en la validación cruzada.	30
Figure 3.3 Efecto de los nutrientes en la calidad del agua a) comportamiento de la reflectancia en la calidad del agua, b) comportamiento de chl-a en el agua y diversas profundidades del agua y c) plantas acuáticas USEPA, 2002).	36
Figura 3.4 Comportamiento de la reflectancia del agua con diversas concentraciones de sedimentos, en azul y rojo se ubican el ancho de las dos primeras bandas del sensor MODIS. Imagen adaptada de Ritchie et al. (1976).	37
Figura 4.1. Diagrama metodológico para la elaboración de un modelo continental para estimar SST.	38
Figura 4.2 Cuerpos de agua considerados en el proyecto. Elaboración propia.	40
Figura 4.3. Resúmenes de los ca en función de disponibilidad de imágenes, regresiones, ecosistemas y áreas.	41
Figura 4.4. Modelo de tabla a utilizar para el almacenamiento de la información por cuerpo de agua.	45
Figura 4.5 a) formas de agrupación de cuerpos de agua con base a la varianza de variables ambientales estudiadas, b) dendograma de asociación de los cuerpos de agua.	48
Figura 4.6. Tipo de aguas presentes en el ambiente en función de la hidrodinámica del sitio Chang et al., (2017).	50

Figura 5.1. Disponibilidad de imágenes satelitales a través del tiempo en los cuerpos de aguas utilizados en el presente proyecto	61
Figura 5.2. Temporalidad de aplicación de los modelos de regresión utilizados en el presente proyecto.....	62
Figura 5.3. Muestreos en campo de los cuerpos de agua utilizados en el presente proyecto.....	63
Figura 5.4. a) Dispersión de la B4 (roja) por cuerpo de agua, b) Dispersión de la B5 (infrarroja cercano) por cuerpo de agua, c) Dispersión de la B6 (infrarrojo medio) por cuerpo de agua, d) Dispersión de los SST por cuerpo de agua.....	65
Figura 5.5. A) longitudes de onda que mejor discriminan los SST, b) relación de la banda 4 con SST de acuerdo con los cuerpos de agua, c) relación de la banda 5 con SST de acuerdo con los cuerpos de agua, d) relación de la banda 6 con SST de acuerdo con los cuerpos de agua.....	68
Figura 5.6. 1) Dispersión tridimensional entre bandas y SST, 2) dispersión bidimensional entre las bandas y TSS. Donde la 2a corresponde a la correlación entre la banda 4 (Red) y los SST , 2b relación entre los SST y banda 5(NIR), 2c relación entre los SST y banda 6 (SWIR1), 2d relación de B4 y B5, 2e relacione entre B4 y B5, 2d relación de B4 y B5, 2e relacione entre B4 y B6, 2f relación	70
Figura 5.7. Variación de media global poblacional y medias de medias por categoría local de TSS, B4, B5 y B6 en los cuerpos de agua.....	72
Figura 5.8. Agrupación del dendograma para la formación de grupos de modelos	73
Figura 5.9. Comportamiento espacial de los modelos regionales encontradas. Nota. Los CA con ID 0 corresponde a cuerpos para validación.	79
Figura 5.10. Variables ambientales consideradas en la generación de clústers. Simbología: valor máximo (v, máx), cuartil 1 (Qmín), promedio ($\bar{X}$), cuartil 3 (Qmáx) y valor máximo (v. máx).	82
Figura 5.11. Comportamiento de intervalos de VA por modelo regional.	86
Figura 5.12. Firma ambiental y firma espectral por modelo regional y significancias de diferencias entre ellas.	87
Figura 5.13. Valores reales y pronosticado del MR.	88
Figura 5.14. Tabla de identificación del modelo regional 1.....	89
Figura 5.15. Valores reales y pronosticado del MR.	90
Figura 5.16. Tabla de identificación del modelo regional 2.....	91
Figura 5.17. Valores reales y pronosticado del MR.	92
Figura 5.18. Tabla de identificación del modelo regional 3.....	93
Figura 5.19. Valores reales y pronosticado del MR.	94
Figura 5.20. Tabla de identificación del modelo regional 4.....	95
Figura 5.21. Valores reales y pronosticado del MR.	96

Figura 5.22. Tabla de identificación del modelo regional 5.....	97
Figura 5.23. Valores reales y pronosticado del MR.....	98
Figura 5.24. Tabla de identificación del modelo regional 6.....	99
Figura 5.25. Valores reales y pronosticado del MR.....	100
Figura 5.26. Tabla de identificación del modelo regional 7.....	101
Figura 5.27. Valores reales y pronosticado del MR.....	102
Figura 5.28. Cuerpos de agua que integran la región homogénea 8.	103
Figura 5.29. Valores medios de los cuerpos de agua a través de modelos de regresión diseñados por autores vs obtenidos por modelo regional.....	105
Figura 5.30. Selección de modelo regional de los cuerpos de agua de prueba.	107
Figura 5.31. Comparación entre valores medidos por los autores y estimados con los modelos regionales con VA similares a través de comparación de modelos de regresión.....	109
Figura 5.32. Comparación entre valores predichos por la región homogénea y un CA con VA similares utilizando muestreos georreferenciados.....	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Regresiones consideradas en la presente investigación.	30
Tabla 3.2. Estadísticos representativos para la evaluación de las regresiones	31
Tabla 3.1.....	31
Table 3.3. Variables ambientales que intervienen en el comportamiento de los SST. Elaboración propia.	33
Tabla 3.4. Modelo de tabla propuesto para almacenar los datos de los promedios variables ambientales.....	34
Tabla 4.1. Modelos de regresión representativos integrados para el modelo continental	42
Tabla 4.2. Resolución espectrales y espacial Landsat-8 OLI y Sentinel-2A y B.....	46
Tabla 4.3. criterios de pertenencia	48
Tabla 4.4. Estadísticos considerados en la técnica de clústers para la creación de grupos	49
Tabla 4.5. Relación de correspondencia entre cuerpos de agua y modelos similares	50
Tabla 4.6. Estadísticos de evaluación de las propuestas de clústers	51
Tabla 4.7 Estadísticos de evaluación de modelos regionales.....	52
Tabla 4.8. Regresiones consideradas en la presente investigación.	54

Tabla 4.9. Variables ambientales que intervienen en el comportamiento de los SST. Elaboración propia.	54
Tabla 4.10. Datos usados por cuerpo de agua en función de los rásters MOD11A2 (2019B-2021A).	55
Tabla 5.1. Regresiones obtenidas a través de muestreos proporcionados por los autores.	58
Tabla 5.2. Correlaciones y covarianzas entre coeficientes de variación de desde la B1 a la B7 y SST.	66
Tabla 5.3. Dispersión de los datos incluidos para el diseño de modelos regionales.	67
Tabla 5.4. Agrupación del dendograma para la formación de grupos de modelos	74
Tabla 5.5. Frecuencia de pertenencia de este clústers.....	76
Table 5.6. Supuestos de validación a los datos de entrada de cada modelo regional.....	78
Tabla 5.7. Modelos regionales, tipo, estadísticas y capacidad explicativa.	80
Tabla 5.8. Intervalos de VA para los modelos regionales (MR).....	83
Tabla 5.9. Variables ambientales significativas por modelo regional.....	84
Tabla 5.10. Longitudes de onda significativas por modelo regional.....	85
Tabla 5.11. Cuerpos de agua con modelos considerados para la prueba de modelos regionales....	108
Tabla 8.1 Tabla con valores promedios de la Temperatura ambiental máxima.....	175
Tabla 8.2 Tabla con valores promedios de la Temperatura ambiental máxima.....	176
Tabla 8.3 Tabla con valores promedios de la temperatura ambiental mínima.....	177
Tabla 8.4 Tabla con valores promedios de TASA	178
Tabla 8.5 Tabla con valores promedios de vapor de agua	179
Tabla 8.6 Tabla con valores promedios de radiación solar (RadSol).....	180
Tabla 8.7 Tabla con valores viento (wind).....	181
Tabla 8.8 Tabla con valores promedios de la precipitación.....	182
Tabla 8.9 Altitud (msnm).....	183
Tabla 17.1. Estadísticos de prueba para la comprensión de los datos.....	198

Nomenclatura, acrónimos y unidades

Símbolo	Descripción	Unidades
ACP	Análisis de Componentes Principales	-----
ANN	Artificial Neuronal Network	-----
$B1_{L8}/B1_{S2}$	Banda azul profundo/aerosoles: Para mapeo de costas y estudios de aerosol con Landsat 8 y Sentinel 2.	$\left(\frac{w}{m^2 * sr * \mu m}\right)$
$B2_{L8}/B2_{S2}$	Banda azul: Útil para mapeo batimétrico, delimitar costas, diferenciar suelo de vegetación, diferenciar coníferas de latifoliadas, detección de rasgos urbanos, vías y construcciones con Landsat 8 y Sentinel 2.	$\left(\frac{W}{m^2 * sr * \mu m}\right)$
$B3_{L8}/B3_{S2}$	Banda verde: Empleada para discriminar sedimentos en suspensión, evaluar vigor de las plantas por la alta reflectancia de la vegetación verde y sana, delinear aguas poco profundas, rasgos urbanos y de infraestructura con Landsat 8 y Sentinel 2.	$\left(\frac{W}{m^2 * sr * \mu m}\right)$
$B4_{L8}/B4_{S2}$	Banda roja: Permite un mayor contraste de áreas con y sin vegetación, discriminar gradientes de vegetación, delimitar áreas urbanas y áreas agrícolas con Landsat 8 y Sentinel 2.	$\left(\frac{W}{m^2 * sr * \mu m}\right)$
$B5_{L8}/B8A_{S2}$	Infrarrojo cercano: Útil para el cálculo de biomasa de vegetación, delimitar costas, para diferenciación suelos-cultivos y suelos-agua, para geomorfología, suelos y geología con Landsat 8 y Sentinel 2.	$\left(\frac{W}{m^2 * sr * \mu m}\right)$
$B6_{L8}/B11_{S2}$	Infrarrojo medio: Se alcanzan a penetrar nubes delgadas. Es útil para discriminar contenido de humedad en los suelos y la vegetación, diferenciar entre nubes, nieve y hielo con Landsat 8 y Sentinel 2.	$\left(\frac{W}{m^2 * sr * \mu m}\right)$
$B7_{L8}/B12_{S2}$	Infrarrojo medio: Útil para discriminar tipos de rocas, para estudios de suelos y mejora la determinación de contenidos de humedad en suelos y vegetación con Landsat 8 y Sentinel 2.	$\left(\frac{W}{m^2 * sr * \mu m}\right)$
Band ratio	Proporciones entre bandas	$\left(\frac{w}{m^2 * sr * \mu m}\right)$
Bn	Banda multiespectral n	μm
β_n	Coefficientes multiplicativo para cada banda multiespectral	adimensional
χ^2	Valores de distribución chi-cuadrado del modelo basado en Breusch Pagan (tablas)	-----
D	Estadístico Durwin Watson	-----
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L
σ	Desviación estándar	adimensional
σ^2	Varianza del modelo	mg/L
DOS	Dark Object Subtractor	-----
DQO	Demanda química de Oxígeno	mg/L
FLAASH	Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes	-----
i	Iteración utilizada en la validación cruzada	adimensional
ID	Identificador utilizado en SIG para los puntos de muestreo	-----
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía	-----
L_{l0} $L\lambda$	Radiancia espectral captada por el sensor	$\left(\frac{w}{m^2 * sr * \mu m}\right)$
Li	Intervalo de confianza del 95% para una observación de y dado un $X_0, y = f(X_0)$	-----
MODTran	Modelo de transferencia radioactiva	-----
MTL	Metadatos de la imagen Landsat 8 OLI	adimensional
n	Número de muestras obtenido por la ecuación de población finita	Número de población/muestra
NASA	National Aerospace Spatial Administration	-----
ND	Número digital	adimensional
NDWI	Normalized Difference Water Index	μm
nm	Nanómetro: equivale a una mil millonésima parte de un metro	$10^{-9}m$
OLI	Operational Land Imager	-----
$\rho\lambda$	Reflectancia de la superficie de agua	$\left(\frac{w}{m^2 * sr * \mu m}\right)$

Símbolo	Descripción	Unidad
P-value	Nivel de Significancia estadística	Adimensional
r	Coefficiente de correlación	adimensional
R^2	Coefficiente de determinación	adimensional
$\bar{R}^2$	Coefficiente de determinación ajustado	adimensional
RASTER	Formato de archivo con la que trabaja el software TerrSet. En su forma más simple, un ráster consta de una matriz de celdas (o píxeles) organizadas en filas y columnas (o una cuadrícula) en la que cada celda contiene un valor que representa información	Adimensional/ megabyte
RMSE	Raíz del Error cuadrático medio	mg/L
SEMARNART	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales	-----
SIG	Sistemas de Información Geográfica	adimensional
TIFF	<i>Tagged Image File Format</i> (Formato de archivo de las imágenes Landsat)	adimensional
μm	Micrómetro: equivale a la millonésima parte del metro	10^{-6}m
UTM	Universal Transversa de Mercator	metros
USGS	<i>United States Geological Survey</i>	-----
v	grados de libertad	mg/L. reflectancia
$Vo\ Chi^2$	Valor observado chi-cuadrado del modelo	mg/L
WGS84	<i>World Geodetic System 1984</i>	métrico
$\hat{y}$	Parámetro de calidad del agua estimada	mg/L
$\hat{y}_i$	Modelo de regresión inicial propuesto	mg/L
SST	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L
<i>Temp</i>	Temperatura	mg/L
TA	Temperatura Ambiental	°C
ALI	Acrónimo	
VA	Variables Ambientales	-----
IOCCG	<i>International Ocean-Colour Coordinating Group</i>	-----
TCA	Temperatura del cuerpo de agua	°C
PVA	Presión de Vapor de Agua	hPa
CDOM	color de la materia orgánica disuelta	mg/L
SR	Sensores Remotos	-----
°C	Unidad en grados Celsius para la temperatura	0 absoluto
IOCCG	<i>International Ocean-Color Coordinating Group</i>	-----
Cn	Clúster de un grupo definido n	-----
ID	Identificador	---
TA	Temperatura ambiental	°C
Q1	Cuartil 1 del conjunto de datos	----
Q3	Cuartil 3 del conjunto de dato	----
SeaDas-NASA	Portal de datos a un km de resolución de la NASA	----
IMERG-FINAL	Portal de datos geográficos de temperatura	-----
LST	<i>Landsat Temperature Superficial</i>	°C
LADDPA	Portal de Earth Splorer	
DOF	Documento Oficial de la Federación	----
NOAA	<i>National Oceanic Atmospheric Administration</i>	----
Est. D	Estadístico Durwin Watson	-----
MAPE	Mean Absolute Percent Error	-----
BIAS		
CosZ	Coseno del solar Zenit	
ESUN	Constante utilizado en el proceso de corrección atmosférica	
Dnmin	Número digital mínimo de la escena	

Símbolo	Descripción	Unidad
Pi	Valor de π	π
d	Diámetro terrestre	km
μ_i		
dc	Distancia entre clústers	----
K	Cantidad de grupos	No. clústers
TOA	<i>Top of the Atmosphere</i>	-----
Ai	latitud central de la escena	°
Lmín	Concentración mínima de la variable ambiental estudiada	---
Lmáx	Concentración máxima de la variable ambiental estudiada	---
Tmín	Temperatura Mínima Superficial	°C
Tmáx	Temperatura Máxima Superficial	°C
e ^a	Humedad Relativa (HR)	%
A	matriz de valores de los términos presentes en las regresiones de los cuerpos de agua	----
V	vector propio que representa la dirección de la transformación lineal	-----
Pres _n	Lamina de precipitación del mes n	Milímetros/mes
DEM	<i>Digital Elevation Model</i>	msnm
ROC	<i>Relative Operating Characteristic</i>	Escala 0-1 o %
e	Asignación exponencial de algún término	----
VAPA	Vapor de agua	
TASA	Temperatura Ambiental de la Superficie de agua	°C
Tprom	Temperatura ambiental promedio	°C
Vientos	Viento	
RadSol	Radiación Solar	
Altitud	Metros sobre el nivel del mar	msnm
Pres	Precipitación promedio mensual	mm
F	Estadístico F de Fisher	----
Sig.	Significancia de los datos (P-value)	-----
gl	Grados de libertad	No. variables o términos
MAPE	<i>Mathematical Aritmetic error</i>	
ANOVA	Análisis de la varianza de los datos	Variable ^2
S.A	Significación asintótica	-----
N	Cantidad de datos utilizado como población	Obj. de estudio
BIC	Criterio de Información Schwarz	-----
n	Cant. De datos de diversa índole utilizado como muestra representativa	Obj. De estudio
GeoTiff	Formato de compresión de imágenes de satélite	----
Clústers	a) Conglomerado de variables ambientales	Cl_{ijt}
SR	Sensores remotos como Landsat, Sentinel, etcétera	
NDWI	<i>Normalized Difference Water Index</i>	adimensional
CVp	Coefficiente de variación de la pendiente	%
AIC	Criterio de Información Akaike	-----
Modn	Modelo de regresión de la región homogénea n	-----
Cln	Clústers de la región homogénea n	-----
L8	Sensor Landsat 8 OLI	-----
S2	Sensor Sentinel 2 A o B	-----
BIAS		
MAPE		

Publicaciones científicas

• Presentación en congresos y en revista indexada:

Cruz-Retana, A. Fonseca. C. R. Hernández, M. Gómez-Albores, M. A., Becerril, P., R., Mastachi-Loza, C. A., Gaytan, S (2023) Assessment of Regression Models for Surface Water Quality Modeling via Remote Sensing of a Water Body in the Mexican Highlands, WATER, 15, 1-17

Cruz-Retana, A. Fonseca. C. R. Hernández, M. Gómez-Albores, M. A., Becerril, P., R. (2022b), Dispersión de reflectancia y concentración de TSS en diversos cuerpos de agua continentales en el mundo”, Integrare-Facultad de Ingeniería UAEMex. USA, 113-122.

Fonseca, C. R., Gómez-Albores, M. A., Cruz-Retana, A., & Becerril-Piña, R. (2021b). Multiclass Data Organizer-TerrSet por IITCA-UAEM. Toluca, México: Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua IITCA-UAEM

Cruz-Retana, A., Fonseca, C. R., Gómez-Albores, M. A. & Becerril-Piña, R. (2021a). “Clústers asociados a características ambientales en cuerpos de agua superficiales en el mundo bajo diferentes técnicas estadísticas”. Toluca, México: Facultad de Ingeniería UAEM.

Cruz-Retana, A. Fonseca. C. R. Hernández, M. Gómez, M. A., Gaitán, S. (2020), Estimación de Sólidos Suspendidos Totales a partir de sensores remotos, Surface, Integrare-Facultad de Ingeniería UAEM. México, 113-122.

• Conferencias en congresos:

Modelo de Orientación Vocacional-Ocupacional MOVO (En Preparatoria Oficial Núm. 150)

Día 12 de noviembre del 2022. Sector de la empresa: Platica motivacional a jóvenes del nivel medio superior. Tipo de curso: conferencia, Tiempo: modalidad de conferencia. Área de desempeño: Nivel media superior

Principios de logística y administración de la cadena de suministro

Del 10 al 11 de febrero del 2020. Sector de la empresa: Instructor y oyente en la capacitación de los principios de suministro. Tipo. Curso. Área de desempeño: Cadenas de suministro.

Monitoreo de los ecosistemas a través de medios digitales

Del 21 de marzo al 22 de marzo del 2021

Sector de la empresa: Tratamiento digital de imágenes satelitales. Tipo de curso: Ponencia. Área de desempeño: Cambio climático y desarrollo sustentable.

Geoestadística ambiental. Modelos y series de tiempo

Del 28 de julio al 10 de agosto del 2020

Sector de la empresa: Cursos de capacitación a los docentes del TESJo. Tipo de curso: Curso. Área de desempeño: Manejo y tratamiento de datos ambientales a nivel espacial

La Era del Aprendizaje creativo y adaptativo por University of States Arizona y Tecnológico de Monterrey

De enero del 2022- marzo del 2022. Sector de la empresa: Aprendizaje adaptativo y crecimiento educativo por medio de aulas hídras. Tipo de curso: clases, Tiempo: 3 horas por día de lunes a viernes. Área de desempeño: Nivel superior.

• **Otros productos:**

Ponente: VIII Encuentro de Estudiantes de Posgrado de Agua en México

Tema: Modelo continental para estimar sólidos suspendidos totales en aguas superficiales del mundo a través de sensores remotos

Fecha: 22 de junio al 24 de junio del 2022.

Ponente: Coloquio en avances en ciencias del agua (Facultad de ingeniería-UAEM)

Tema: Caracterización Físicoquímica de Parámetros de Calidad del Agua a través de sensores remotos: Caso de Estudio P. J. A. Alzate, México.

Fecha: 13 de junio del 2019 al 14 de junio de 2019.

Reconocimiento: Agua y Sensores Remotos conmemoración Día Mundial del Agua 2022: Aguas subterráneas.

Observación: Segundo lugar en video reportaje en la evaluación de la calidad del agua.

Fecha: 22 de marzo del 2022

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Para estimar los Parámetros de Calidad del Agua (PCA) con sensores remotos generalmente se utilizan datos de reflectancia de imágenes multiespectrales e hiperespectrales (Samaniego, 2014; Gholizadeh et al, 2016; Cruz, 2019). Entre los sensores multiespectrales más utilizados se encuentran Landsat, Sentinel, MODIS, Quickbird, ICONOS, RapidEyes, Hyperion ALI, etc. (Arias, 2014; Kavurmaci et al., 2013). Para el caso de las imágenes hiperespectrales más utilizadas se encuentran Hyperion y AISA (Rostom et al., 2017; Ekercin, 2007). La información de estos sensores permite generar análisis de tipo *machine learning* de los datos de PCA y reflectancia proporcionada por las imágenes utilizando diversas técnicas estadísticas (p.e. modelos de regresiones) o técnicas de machine learning (programación genética y programación basado en redes neuronales). En los modelos de regresión se han desarrollado modelos lineales y no lineales validados a través de muestreo en campo (Aparicio et al., 2017; Kavurmaci et al., 2013). En lo referente a la programación genética y modelos de redes neuronales se realizan simulaciones a partir de un dato semilla (Eugenio et al., 2014; Abdelmalik, 2016; Chang et al., 2015; Ruiz, 2017; Valencia, 2007).

Las metodologías explicadas en el párrafo anterior, desde sus inicios hasta el 2015 se enfocaban en el estudio de cuerpos de agua por separado (Chang et al., 2015; Doña, 2016; Ruiz, 2017). Sin embargo, se han realizado distintos intentos por generar modelos que puedan incluir más de un cuerpo de agua (Sundarabalan et al., 2020; Cruz, 2019; Chang et al 2015; Gholizadeh et al., 2016). De estos avances sobresalen la recopilación de las ecuaciones de regresiones de la comparación de cuarenta años, escrito por Chang et al. (2017), los estudios de Gholizadeh et al. (2016), la comparación de los modelos por Cruz (2019) y Sundabaralan et al. (2020) en la generación de grupos por tipos de agua. Sin embargo, aún existen ventanas de oportunidad para mejorar las técnicas utilizadas. Por ello, el presente proyecto analiza la posibilidad de identificar y agrupar cuerpos de aguas por medio de clústers que permitan estimar los sólidos suspendidos totales (SST) presentes en el agua bajo un mismo modelo regional. Esta propuesta tiende a caracterizar estos modelos regionales en función superficial de variables ambientales (VA), capaces de influir en el comportamiento de la calidad del agua superficial. Las VA que pueden sobresalir en el comportamiento de los SST en el agua son: temperatura mínima ($T_{\min}$), temperatura promedio (T_{prom}), temperatura máxima ($T_{\max}$), temperatura de la superficie de agua (TASA), vientos (vientos), vapor de agua (VAPA), precipitación y altitud. Por lo tanto, a partir de la caracterización del comportamiento ambiental se pueden hacer pruebas en otros sitios con ausencia de modelos propios.

Los modelos regionales desarrollados a partir de la validación cruzada pretenden estimar la concentración de SST a partir de alta frecuencia de sus uso y disponibilidad de información referente a modelos locales Cabe destacar que se eligió este PCA debido a a) disponibilidad de información, b) es un PCA que proporciona información relevante de la calidad del agua a nivel físico, c) presenta resultados cercanos a la realidad a partir de su estudio con sensores remotos (Sundarabalan et al., 2020; Pahlevan et al., 2019; Cruz, 2019).

1.1 Justificación, aportación científica, tecnológica y contribución social

La mayoría de las mediciones de calidad del agua son producto de la experiencia acumulada, e intuitiva basadas en la toma de muestras de campo puntuales y análisis del laboratorio (Karaoui et al., 2018). Lo cual puede derivar en análisis tardados y costosos afectando la toma de decisiones en la gestión hídrica, ya que, requiere de análisis fisicoquímicos del agua en tiempos definidos. Actualmente los sensores remotos contribuyen a generar estimaciones de calidad del agua distribuida tanto espacial como temporalmente (GIOVANNI-NASA, 2020; SEMARNART, 2016; Aviña, 2018; Metcalf & Eddy, 1997). Estos modelos desarrollados con base en la correlación observada entre ciertos parámetros de calidad del agua y la reflectancia recuperada de los sensores remotos. Sin embargo, requiere de la validación con muestreo de campo de los cuerpos de agua en específico. Por lo tanto, existen incontables cuerpos de agua sin un modelo disponible. En este sentido la presente investigación pretende generar modelos regionales para la estimación de SST tomando como referencia diversos cuerpos de agua lo que ayudará en el monitoreo de los recursos hídricos en la definición de las bases y fundamentos para la toma de decisiones de manera integrada.

Uno de los mayores desafíos y que representa el principal aporte metodológico del presente estudio corresponde a identificar la correlación entre reflectancia y sólidos suspendidos totales (SST) en función de grupos homogéneos. Con ello, será posible estimar la concentración de los SST por sensores remotos en cuerpos de agua sin modelos de regresión disponible, pero con características ambientales similares a alguno de los grupos identificados en la metodología. En consecuencia, utilizar la técnica de *Hierarchical Clusters Analysis* (HCA) en conjunto con un análisis de significancia y evaluación por pares permite caracterizar a los grupos homogéneos en función de la similitud de variables ambientales significativamente diferentes, permitiendo discriminar los modelos regionales para su selección en la estimación de SST en un cuerpo de agua diferente.

De esta manera posible proporcionan la base analítica de una estimación sistemática de los SST a través de *scorecards* por cada modelo regional (aporte metodológico). Asimismo, estos *scorecards* están disponibles para cualquier usuario; a la cual le permitirá el monitoreo de todo el cuerpo de agua para una mejor toma de decisiones en la gestión de recursos hídricos (contribución social).

1.2 Hipótesis

Las reflectancias recuperadas de sensores remotos correspondientes a diferentes cuerpos de agua superficiales proporcionan un nivel de correlación adecuado ($R^2 \geq 0.79$) con la concentración de sólidos suspendidos totales, siempre y cuando los cuerpos de agua compartan similitud en algunas variables ambientales (temperatura ambiental y de superficie de agua, vapor de agua, dirección de viento, precipitación, altitud, dinámica y radiación solar).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar modelos regionales a partir de sensores remotos para la estimación de sólidos suspendidos totales en grupos de cuerpos de agua superficiales a nivel continental basados en variables ambientales.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar la disponibilidad de información sobre reflectancias y concentración de SST a partir de cuerpos de agua con modelos de regresión para la estructuración de una base de datos homogénea.
- Integrar bases de datos respecto a variables ambientales, condiciones de latitud y dinámica de cuerpos de agua que se relacionan con la concentración de SST y reflectancia para la caracterización con los modelos regionales a través de análisis de diferencias significativas.
- Desarrollar modelos regionales para la estimación de SST a partir de la reflectancia en los cuerpos de agua superficiales que muestren comportamientos similares basados en un proceso de análisis jerárquico y análisis de correspondencia.
- Estimar la concentración de SST en diversos cuerpos de agua mediante modelos regionales seleccionadas a través de variables ambientales y diferencias significativas para su validación.

CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE

El análisis de calidad del agua a partir de sensores remotos (SR) en las últimas décadas se ha enfocado en la correlación de datos de los Parámetros de Calidad del Agua (PCA) con reflectancia. Estos modelos generados con teledetección aún se enfocan en un solo cuerpo de agua, muy pocos estudios como los de Sundarabalan et al., (2020), Gholizadeh et al., (2016) y Cruz (2019) han tratado de integrar los datos de distintos cuerpos de agua con técnicas estadísticas¹. Existen PCA físicos, químicos, y biológicos estimados con SR. El presente proyecto se enfocará en los sólidos suspendidos totales (SST) en relación con su estimación con SR asociado con grupos homogéneos.

La interacción del espectro electromagnético con el agua se enfoca principalmente en la región del azul (400 y 700 nm). En este intervalo del espectro electromagnético el agua refleja la mayor cantidad de energía (figura 2.1).

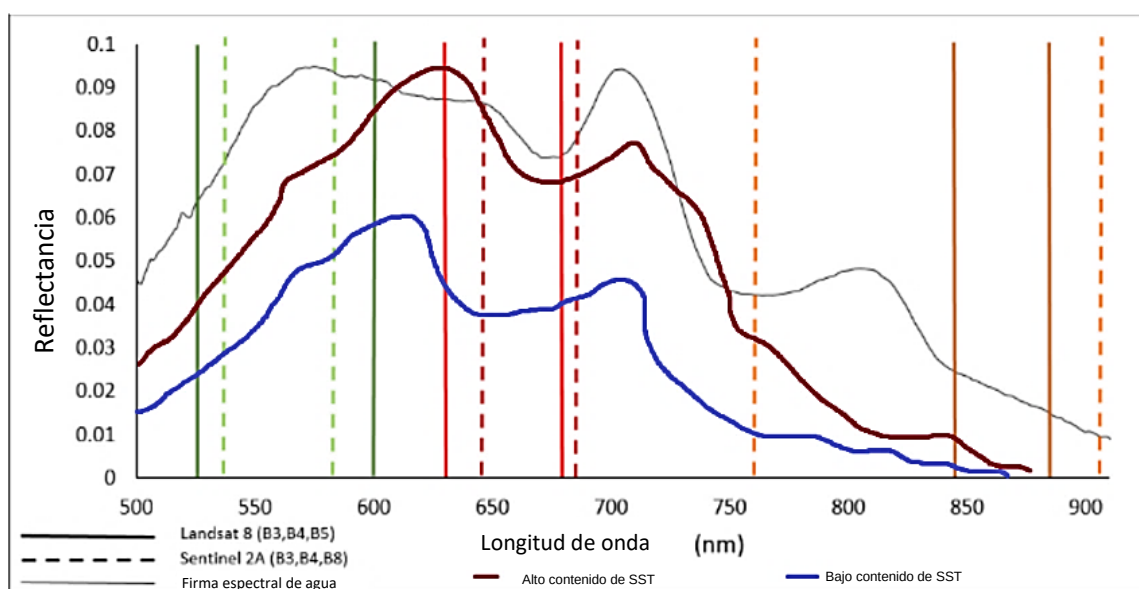


Figura 2.1. Firmas espectrales típicas del agua, agua con alto contenido de SST y agua con mínima cantidad de SST, Cruz, 2019; Chang et al., 2015; Sundabarabalan et al., 2020).

Los datos satelitales de Landsat 8 OLI (resolución espacial de 30m: figura 2.1) poseen información a distintas longitudes de onda (USGS, 2013): en la banda aerosol/blue (B1=0.435-0.451 μm), banda blue (B2=0.452-0.512 μm), banda green (B3=0.533-0.512 μm), banda red (B4=0.636-0.673 μm), banda NIR (B5=0.851-0.879 μm), banda SWIR1 (B6=1.566-1.651 μm), banda SWIR2 (B7=2.107-

¹ Las técnicas estadísticas comunes para la estimación de los SST son los modelos de regresión, modelos de redes neuronales y programación genética clasificados en algunos estudios como modelos empíricos, analíticos, *deep learning* y *machine learning* (Wang & Yang, 2019; Zeinalzadeh & Rezaei, 2017).

2.294 μm), banda pancromatic (B8=0.503-0.676 μm), banda cirrus (B9=1.363-1.384 μm), banda thermal1 (B10=10.60-11.19 μm), banda thermal2 (B11=11.50-12.51 μm). SENTINEL 2A-presenta resolución de 10 metros en las bandas blue (B2=490 nm), green (B3=560 nm), red (B4=665 nm) y NIR-IR (B8=842 nm). La resolución espacial es de 20 m en las bandas banda NIR (B5=705 nm), NIR 2 (B6=740 nm), cirrus (B7=783 nm), pancromatic (B8=865 nm), SWIR1 (B11=1610 nm) y SWIR2 (B12=2190 nm) y una resolución de 60 metros en las bandas aerosol/blue (B1=443 nm), (B9=940 nm), (B10=1375 nm; COPERNICUS, 2021).

La interacción de las reflectancias con los cuerpos de agua se enfoca principalmente en los primeros 10 cm de profundidad del agua (Piña, 2015), únicamente la longitud de los aerosoles-azul profundo puede alcanzar hasta 1 m de profundidad (Cruz, 2019). Sin embargo, para que lo anterior se cumpla el cuerpo de agua debe contener bajas cantidades de contaminación (SST, DBO, DQO, NT, entre otros) ya que en altos contenidos la firma espectral es modificada (Chang et al., 2015; figura 2.2).

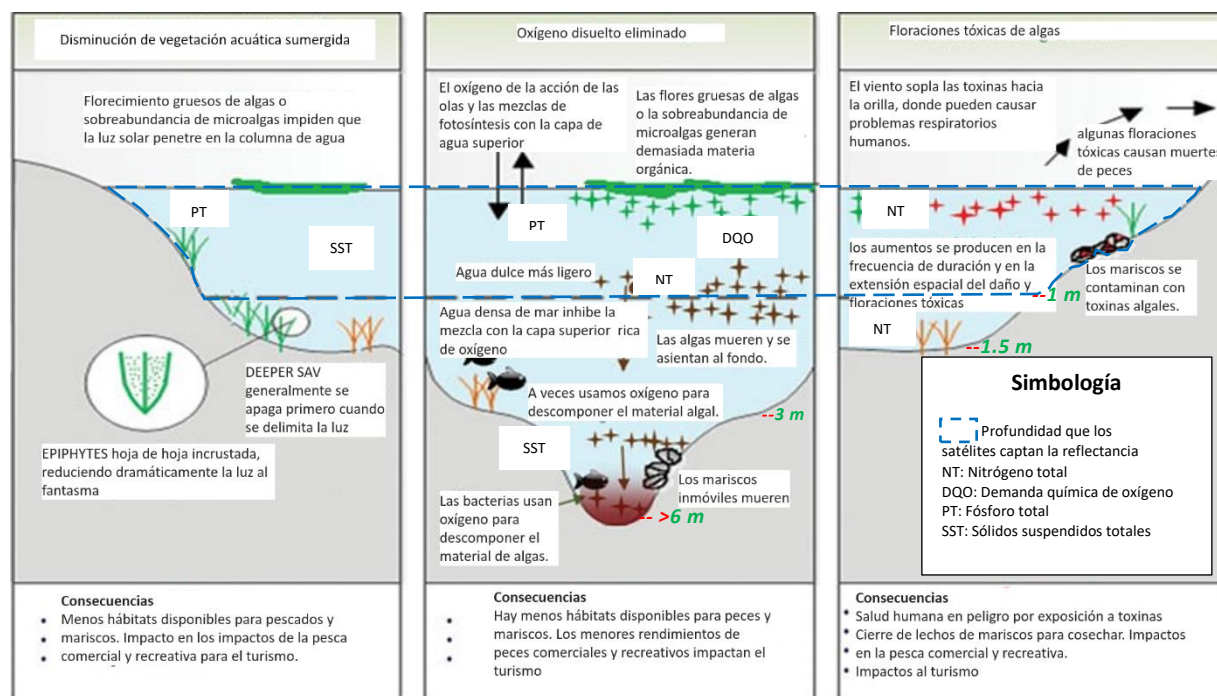


Figura 2.2. Profundidades en la que normalmente se encuentran los PCA (Elaboración propia con base en Metcalf & Eddy, 2003) y efecto de los nutrientes en el cambio de la calidad del agua, estado del ecosistema (Modificado de Cruz, 2019).

A pesar de que los estudios de contaminación de PCA se han realizado por cuerpo de agua es deseable crear modelos integrales de los mismos para comprender de forma homogénea los PCA en los

distintos sitios, por medio de diversas técnicas estadísticas² (Sundarabalan et al., 2020). Lo anterior, sustenta el presente proyecto la cual se enfocará en la estimación de sólidos suspendidos totales (SST) con SR asociado con grupos homogéneos.

Los SST corresponden a la medición cuantitativa de los sólidos, sales disueltas y de la cantidad de materia orgánica contenidas en aguas naturales y residuales, mediante la evaporación de la muestra tanto filtrada como no filtrada a temperaturas específicas, en donde los residuos son pesados (Jerves & Machado, 2016; Doña, 2016; DOF, 2015)³.

Parar diseñar un modelo regional para SST los autores que han tratado de integrar las ecuaciones de regresión recomiendan evaluar a) el promedio, b) la desviación estándar, c) los valores mínimos (mín.), máximos (máx.), d) varianza de las concentraciones durante el año (mes) y e) la agrupación de cuerpos de agua en relación con reflectancias y condiciones atmosféricas en relación con variables ambientales (clústers; Sundarabalan, et al., 2020). Además de los datos anteriores, también existen otros PCA como la temperatura del cuerpo de agua, turbiedad, salinidad, clorofila-*a*⁴ y color de la materia orgánica disuelta (CDOM) que tienen una estrecha relación con el comportamiento de los SST, por lo tanto, estas variables también pueden utilizarse para la generación de clústers (Binh et al., 2017; Waxter, 2014; Mushtaq & Nee 2016; Du et al., 2018; Wei & Min, 2019; Kulkarni, 2011) . Entre las variables ambientales, la temperatura (*T*) corresponde a la energía interna de un cuerpo (Arias, 2014). Está suele encontrarse y utilizarse de dos formas en el análisis de calidad del agua, como temperatura ambiental (*T_a*) y también como temperatura de la superficie del cuerpo de agua (*T_{ASA}*).

La temperatura ambiental (*T_{min}*, *T_{prom}* y *T_{máx}*) puede ser obtenida a través de diversos portales como DayMet, (2020) Clicom (2021), Giovanni NASA (2020) y WorldClim (2021) con una resolución aproximada de 30 arcos de segundo (1.0 km). Para el caso de la temperatura ambiental de la superficie del cuerpo de agua (*T_{ASA}*) existen algunos modelos calibrados como los de Barsi et al. (2005) que

² Las técnicas estadísticas comunes para la estimación de los SST son los modelos de regresión, modelos de redes neuronales y programación genética clasificados en algunos estudios como modelos empíricos y analíticos (Chang et al., 2015), validados en función de la distribución t de Student y Chi cuadrada, con base en las reflectancias ya tratadas en relación con el modelo de calibración y corrección atmosférica del sitio (anexo I.1-I.3).

³ Las normas oficiales mexicanas son actualizadas constantemente, de acuerdo con los avances de la tecnología en la medición de los sólidos suspendidos totales (SST) para presentar información relevante a las concentraciones de los SST (DOF, 1996).

⁴ El pigmento de clorofila que es representativo para su estudio con sensores remotos (SR) corresponde a la clorofila-*a* (Chl-*a*) ya que los pigmentos son fáciles de discriminar por la reflectancia captada por los sensores remotos como lo sigue los estudios realizados por Kavurmaci et al. (2013) Ghada et al. (2011). Para el resto de los pigmentos de clorofila su comportamiento fenológico y pigmentos son complejos para su estudio mediante SR (anexo II).

permiten estimarlo con un intervalo de confianza aceptable ($\geq 95\%$), o bien algunos elaborados para estudios definidos (García, 2020). La relación de la temperatura con los SST radica en que si la temperatura es alta o existe fitoplancton la reflectancia disminuye en el visible afectando el comportamiento de la temperatura y SST. Además de lo anterior, el cuerpo radiará con mayor intensidad en longitudes de onda más corta (400 nm-700nm; Sepúlveda, 2011; Coutiño, 2012).

Además de lo anterior también existen algunos elementos geográficos que influyen en el comportamiento de los SST como el clima que es un factor capaz de generar impactos en la concentración de diversos contaminantes (Hajigholizadeh & Melesse, 2016). Por ejemplo, la precipitación (Prec) provoca que los SST tiendan a disolverse por el caudal generado (Li & Yu, 2019; Ambiga & Annadurai, 2015).

El análisis anterior resalta la importancia de intentar generar un modelo continental para la estimación de los SST. Este es uno de los PCA que han sido estudiado por diversos autores en todo el mundo en diferentes cuerpos de agua (Chang et al., 2015; Bui-Dinh, 2016; Pham et al., 2018; Zhao et al., 2020; Wang., 2017; Lobo et al., 2015; Nurdin et al., 2019; Nguyen et al., 2020; Cheng Tu et al., 2018; S/N, 2020; Cahyono et al., 2019; Ouma et al., 2020; Balasubramanian et al., 2020; Subiyanto, et al., 2018; Pandhadha et al., 2019; Fang et al., 2010; Bioresita et al., 2018; Nurgiantoro et al., 2019; Pinkerton et al., 2014; Wibisana et al., 2018; Faye et al., 2020; KC et al., 2019; Wibisana et al., 2020; Afgatiani et al., 2020; Arango et al., 2020; Aldabash & Şanlı, 2016).

Los autores, anteriormente mencionados han obtenido diferentes modelos de regresión para la estimación de SST como alternativas para monitorear la calidad del agua por medio de la reflectancia de cuerpos de aguas superficiales almacenadas, en diferentes bandas que integran una imagen satelital⁵. La importancia de la estimación de los SST con sensores remotos radica en la precisión de la información (aproximadamente $R^2 = 0.8$) que proporciona de manera rápida, con costos razonables a diferencia de los métodos tradicionales (USGS, 2013).

Chang et al., (2017) recopilaron los avances de regresiones de los últimos 40 años e identificaron que los SST tienen un comportamiento lineal de 0-50 mg/L y curvilínea de los 50-350 mg/L. El *International Ocean-Colour Coordinating Group-IOCCG* (2012) indica que las altas concentraciones de SST reflejan mayor energía en la longitud de 600-700 nm y también mayor reflectancia en los 590 nm y 710 nm. Para que la condición anterior se cumpla los cuerpos hídricos deben tener menor

⁵ Dichas imágenes, según el número de bandas que contengan, se pueden clasificarse en multiespectral o hiperespectral (Samaniego, 2014). Las imágenes multiespectrales están compuesta por una cantidad menor a 100 bandas (AVHRR-11, ASTER, GeoEye2, DubaiSat-2, RapidEye1, Landsat, IKONOS, QuickBird, Sentinel, SPOT, WorldView, MODIS, etcétera). Mientras que las hiperespectrales presentan más de 100 bandas en su composición (Hiperion, AVIRIS, etcétera).

concentración de fitoplancton (Caho et al., 2017) y para el caso de las bajas concentraciones de SST menor energía (Song et al. 2012).

Los modelos de regresión recolectados por Chang et al., (2017) han sido generados por medio de diversas metodologías semiempíricas y *machine learning* (Chang et al., 2015; Zheng & DiGiacomo, 2014, Cruz et al., 2021; Wang & Yang, 2019). Para los métodos empíricos y analíticos se encuentran los modelos de regresión y programación genética, modelos ópticos analíticos, bio-ópticos. Los métodos semi-empíricos/semi-analíticos combinan métodos analíticos y empíricos por medio de diversos algoritmos (fusión de color, métodos empíricos modificados etcétera, manipulación de datos en *Real Near Time of Data* (anexo IV)). Las técnicas de *machine learning* tienden a aprovechar el aprendizaje multidimensional de todas las relaciones no lineales posibles. En esta técnica podemos encontrar las redes neuronales artificiales, programación genética de algoritmos, vector de soporte de decisión y funciones ortogonales empíricas. Estos últimos presentan ventajas en trabajar con mayor cantidad de iteraciones a fin de reducir el error máximo de los modelos.

La caracterización está delimitada por el tipo de cuerpo de agua en este sentido, Sundabarabalan et al. (2020)⁶ realizaron un modelo robusto para estimar los SST clasificados en tipos de aguas ríos, lagos y costa. Para ello el modelo generado siguió tres pasos: a) clasificación de agua con base en las reflectancias de los sensores remotos, b) filtro de partículas de la atmósfera (*backscattering*) de la región roja e infrarroja (NIR) y c) estimación de los SST para los diferentes tipos de agua basado en un modelo empírico.

En este modelo se logró optimizar los umbrales de reflectancia para estimar los SST en diferentes tipos de agua, sin embargo, hace falta incluir algunas variables ambientales que también pueden influir en la estimación de los SST en diferentes sitios. Los alcances de estos modelos encontrados fueron basados en el RMSE (0.32), BIAS (1.09), MAPE (49%) y MAE (1.89). Cabe destacar que en este estudio el análisis se fundamentó principalmente en los umbrales de longitud de onda ($400\text{ nm} < \lambda < 700\text{ nm}$) correspondiente al sensor Landsat 8 OLI.

En la figura 2.3 se pueden apreciar algunos resultados de SST estimados para la presa J. A. Alzate, México, con base a diferencia modelos que condicionan las longitudes de onda de 590 nm a 710 nm.

⁶ El estudio de Sundabarabalan ha sido uno de los primeros en crear características homogéneas para la estimación de los SST con base en tipos de agua (agua azul-verde, agua verde y agua marrón). Sus estudios han alcanzado una capacidad explicativa de $R^2=0.7$, la cual permite tener las bases para la comparación de alcances en estudios posteriores bajo metodologías similares o diferentes.

Dichos modelos corresponden a Carrillo (2016); Ruiz (2017) con un modelo de tipo lineal, el de Cruz (2019) de tipo polinomial, Fernández y Moreira (2014) proporcionaron un modelo logístico.

En promedio, el estudio de Fernández y Moreira (2017) tiene un valor similar de SST relativo con el estudio de Cruz (2019). Cabe resaltar que el modelo de regresión de Ruiz (2017) se sugirió con base en el embalse de Prado, Colombia, donde las condiciones que principalmente influenciaron fueron las geográficas (latitud, altitud y clima del sitio). Mientras tanto, el modelo de Cruz (2019), obtuvo valores altos debido a que la ecuación se diseñó y aplicó en La Presa J. A. Alzate, México, que es utilizado principalmente para el desagüe de aguas residuales domésticas e industriales. Lo anterior muestra indicios del alcance de la aplicación de los modelos de regresión en diferentes cuerpos de agua con base en las características fisicoquímicas y geográficas. Para que un modelo regional pueda generar estimaciones confiables debe ser sometido a procesos de validación (Aparicio et al., 2017; Estrada, 2019)⁷.

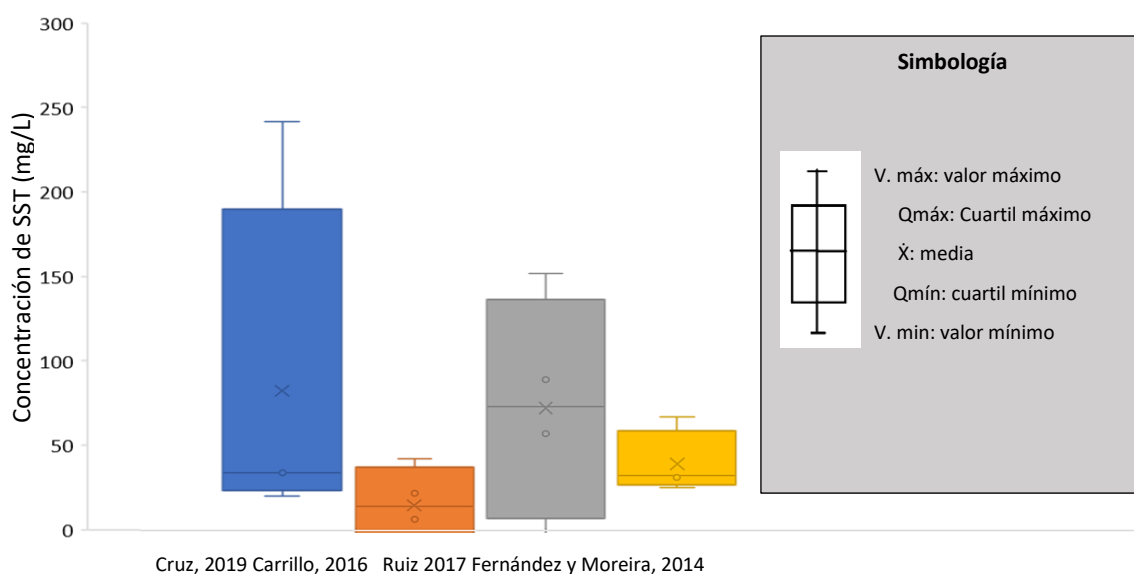


Figura 2.3. Estimación de SST con diferentes modelos de regresión utilizando el sensor Landsat 8 OLI (modelos con mayor peso en las longitudes de 590 nm y 710 nm)⁸.

⁷ Los procesos de validación aumentan la significancia de los datos ya que no solo se fundamenta la información con técnicas estadísticas sino con información que el experto conoce del tema. Además de lo anterior son los encargados de disminuir la incertidumbre de los resultados obtenidos (Mun, 2012). Estos procesos de validación pueden ser directamente en campo (muestras) o por pruebas estadísticas (*bootstrap*, *crossvalidation*, calibración de errores)

⁸ La longitud de onda de 590 nm y 710 nm que es el umbral con información representativa para analizar los SST a través de sensores remotos.

2.1. Interacción de las variables ambientales con los SST

En este estudio se analizan los modelos de regresiones similares a partir de clúster y caracterizadas a partir de variables ambientales debido a que la mayoría de los estudios han obtenido resultados aceptables en los pronósticos de SST. Por lo tanto, los modelos regionales pueden ser agrupadas utilizando técnicas como los análisis jerárquico y no jerárquico (Valencia 2007; Aiman et al., 2014; Yang et al., 2020). Para lograr el análisis anterior, es importante la delimitación de cuerpos de agua, e función de su sistema lótica y léntica. En cuanto a los cuerpos de agua lóticos se encuentran ríos, arroyos, entrada al mar, cañones, o los cuerpos de agua con presencia marcada de pendientes. Mientras que, en sitios de estancamiento como las presas, talweg⁹, lagos predominan las aguas lóaticas (figura 2.4).

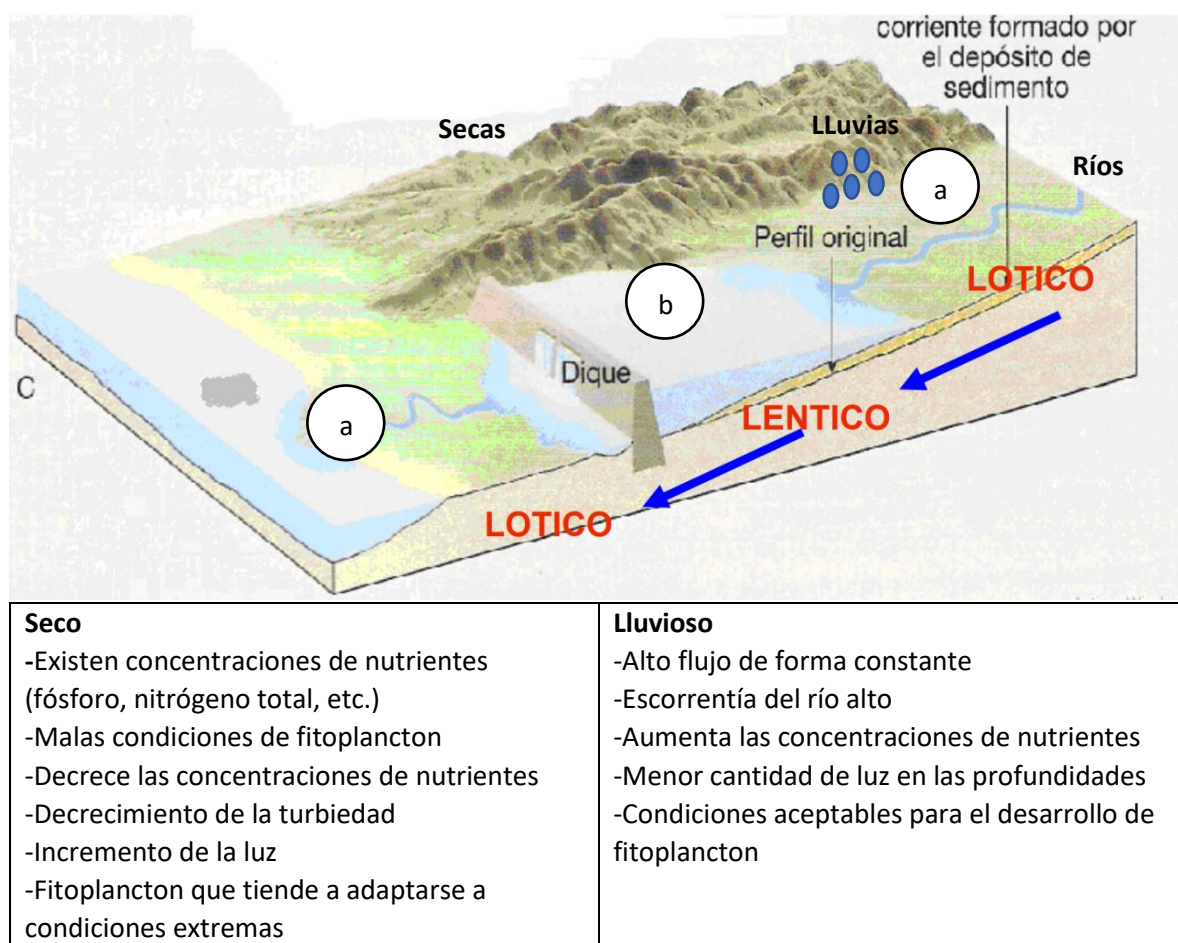


Figura 2.4. Comportamiento de los SST de aguas lenticas y lóaticas en el ambiente en función de la hidrodinámica del sitio Chang et al., (2017).

⁹ El talweg corresponde a la zona donde la línea del río se une con los puntos de menor altura en un valle o en el cauce de un río y donde la corriente tiende a ser más rápida por lo tanto puede transportar mayor cantidad de sedimentos de acuerdo con las condiciones del sitio (Castro & Brignarbello, 2005).

Los SST en estos cuerpos de agua generan un aumento de la reflectividad en el espectro comprendido entre los 400 y 1000 nm (Doña, 2016). El incremento de la reflectividad y la variación de la firma espectral dependerán del tamaño de la partícula y de las propiedades del sólido asociado. Cuando el tamaño de partícula disminuye la reflectividad aumenta. Sin embargo, si las partículas son de origen orgánico también dependerá de sus características cromáticas. Por lo tanto, en caso de que el sitio presente fitoplancton, la reflectividad aumentará en la B3 (verde) y disminuirá en la B2 (azul). Si se trata de partículas inorgánicas y de origen arcilloso, a más concentración de estas partículas la reflectividad aumentará, especialmente en la zona del B4 (rojo; figura 2.5). Por consecuencia los SST reflejan energía en la banda B3 y B4 y con menor energía en la B6 y B7.

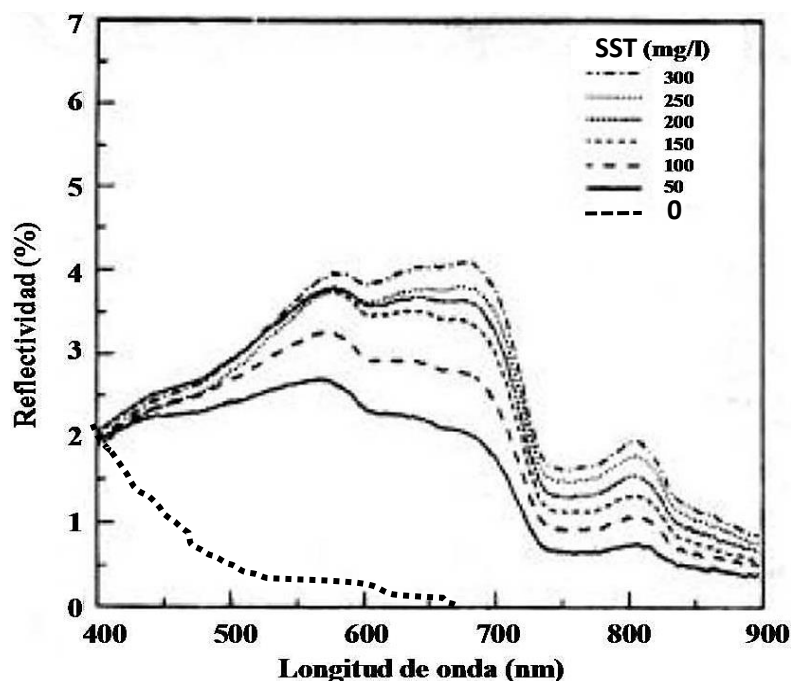


Figura 2.5. Variación de la reflectividad en función de los sólidos suspendidos totales (Doña, 2016).

El comportamiento espectral del agua limpia presenta alta reflectancia en los 400-450 nm del espectro electromagnético, mientras que en los 600 nm presentan los valores más bajo de toda la firma espectral. Las VA sobresalientes en el comportamiento de los SST específicamente corresponden a la temperatura superficial, radiación solar, vapor de agua, velocidad del viento. Por lo tanto, la atmósfera del lugar será diferente y el número digital recopilado por los sensores serán influenciados por estos valores (Chuvieco, 2002). Como se mostró en la figura 2.2 también existen algunos PCA que influyen en el comportamiento de las reflectancias como la temperatura del agua, la concentración de clorofila-a (Chl-a) por lo tanto, es importante analizar el comportamiento de las correcciones atmosféricas (anexo I & III) y los modelos de regresión de los cuerpos de agua para que

las estimaciones de SST sean confiables (Aiman et al., 2014; Cheng et al., 2018; Tu et al., 2018; Chang et al., 2015). Para comprender la interrelación de las VA, en las concentraciones de SST, es necesario distinguir regiones similares. Para lograr lo anterior, se procesó los datos con técnicas clustering, en donde la interacción de las VA y PCA se integran en función de probabilidades o distancias dependiendo de la técnica utilizada (Navidi, 2006; Mun, 2012). Para el caso de la técnica no jerárquica agrupa las VA y PCA en función de la distancia (distancia euclidiana, distancia euclidiana al cuadrado, etcétera). Mientras que las técnicas jerárquicas en criterios como varianza, distancia cuadrática, promedios, coeficiente de variación etc. A partir de ello, se identifican las varianzas representativas para saber qué tan diferentes son los grupos entre sí. Aunado a ello, la convergencia de los clústers está definido por n iteraciones para encontrar las distancias adecuadas en función del número de clústers establecidos en el inicio.

CAPITULO 3. MARCO TEÓRICO

3.1 Desarrollo de modelos

3.1.1 Datos de entrada (pruebas)

En el diseño de modelos regionales también debe ser evaluado el comportamiento de las variables independientes (Sundarabalan, et al., 2020) . Es decir, se deben analizar los estadísticos de evaluación y validación¹⁰. Los estadísticos sobresalientes para evaluar los datos de entrada están asociados a valores atípicos, no linealidad, normalidad, micronumerosidad, homocedasticidad y supuestos de estacionalidad (figura 3.1; Navidi, 2006).

La importancia de las pruebas estadísticas radica en el incremento de los SST a través del tiempo en función del valor de la varianza de los errores, así como muestreos que pueden estar alterando la formación del modelo. Cuando se está utilizando datos obtenidos a través de ecuaciones, es importante el manejo de los valores mínimos y máximos ya que influirán directamente en el modelo (Sundabaran., et al, 2020). Se recomienda identificar los puntos de disparidad en los límites extremos y en caso de alterar la construcción del modelo en las validaciones cruzadas (*n iteraciones*), valorar si deben ser eliminados para la mejora del coeficiente de determinación y RMSE del modelo construido (Walpole & Myers, 1989; Mun, 2012; Hastie et al., 2017). A partir de lo anterior, la confiabilidad del modelo permite modelar los SST en función de las propiedades ópticas de la luz y las características abióticas (físicas-químicas-biológicas) e identificar la función adecuada (lineal o no lineal; Aviña, 2018).

¹⁰ En el diseño de los modelos de regresión la confiabilidad de los resultados debe de considerar supuestos de validación a los datos de entrada, supuestos de los modelos, evaluación y validación de forma paralela (Cruz, 2019; Mun, 2012).

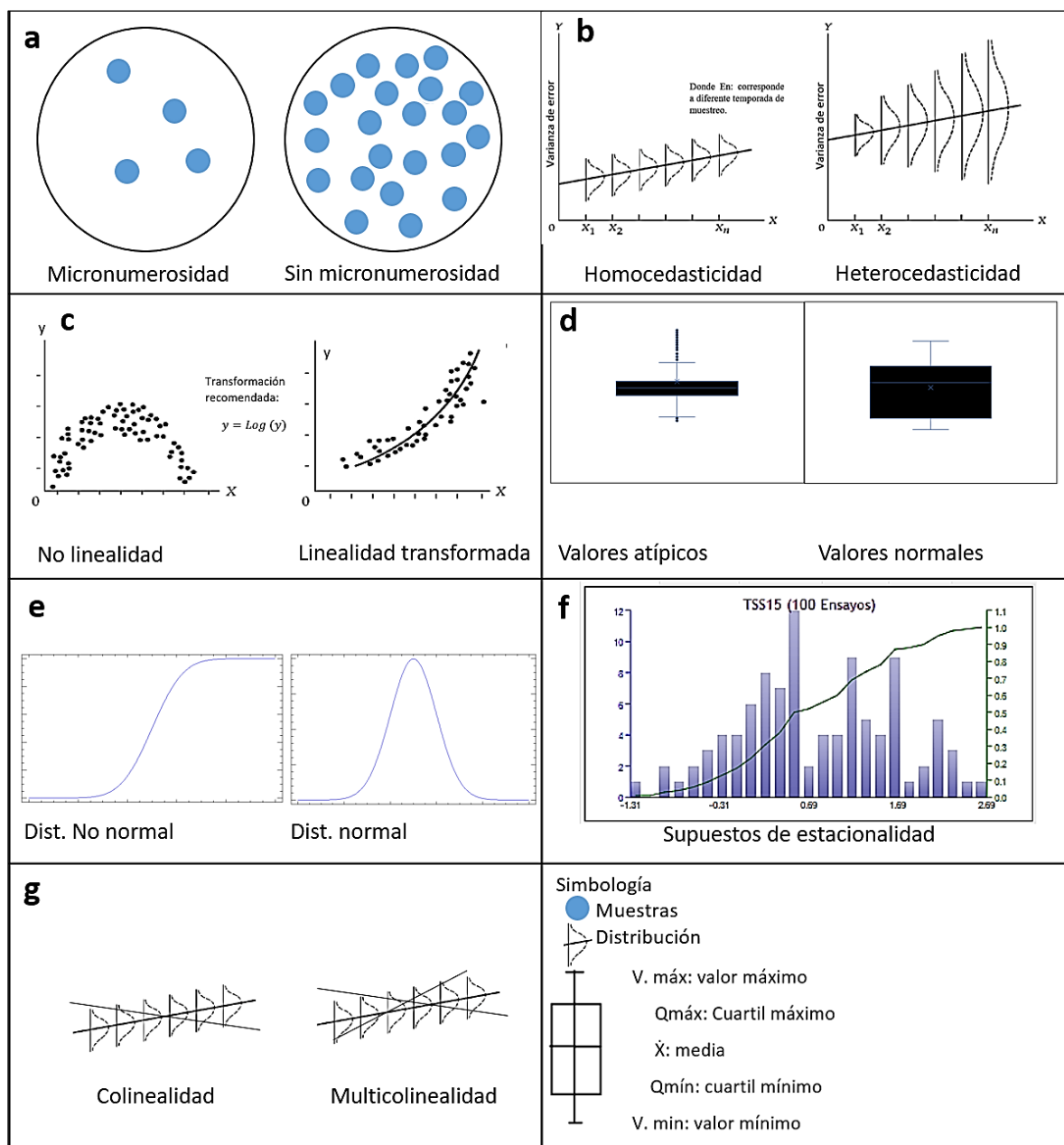


Figura 3.1. a₁) modelos con distribución normal y con deficiencia de normalidad en la estimación de los SST. b) Validación cruzada en los modelos de regresión.

En relación con la micronumerosidad se recomienda estudios con muestreos $n \geq 30$ datos. Sin embargo, en relación con los pixeles a 30m que abarcan los cuerpos de agua en el mundo; un muestreo de 30 pixeles puede no ser representativa en estudios posteriores. Con base en los supuestos anteriores, se sugiere obtener muestras estratificadas para comprender el comportamiento de los datos. Mientras tanto para identificar datos homocedásticos, se puede hacer uso de la prueba de White; la cual, se basa en identificar que los residuos mínimos cuadrados ordinarios (MCO) al cuadrado no sean de algún modo función de los regresores; y, por tanto, no son constantes (heterocedasticidad).

También puede apoyarse de la *Prueba Breusch-Pagan* para comprobar si se puede encontrar un conjunto de variables Z que sirvan para explicar la evolución de la varianza de las perturbaciones aleatorias, estimada.

El comportamiento lineal de los modelos regionales puede identificarse a través de la prueba de no linealidad basada en p-value, donde si $p\text{-value} \geq 0.1$ linealidad y si $p\text{-value} \leq 0.09$ no linealidad. El comportamiento lineal mejora la capacidad explicativa de los modelos diseñados bajo esta condición (figura 3.1c). En caso de los modelos no lineales presentarán mejores ajustes de regresión en modelos no lineales por lo tanto se recomienda ser evaluados bajo este parámetro para comprender mejor el fenómeno estudiado (Mun, 2012). Para ajustar los modelos con menor dispersión se debe de eliminar los valores atípicos del conjunto de valores de entrada. Para la identificación de los valores atípicos se puede utilizar la gráfica boxplot (figura 3.1d) o bien existen complementos de Excel como Risk Simulator que indican la cantidad de muestras atípicas en el estudio. Otro de los supuestos de entrada corresponde a la normalidad de los datos. Esta prueba es recomendable en los modelos lineales ya que facilita la obtención de estadísticos adecuados en los modelos obtenidos (figura 3.1e). Así mismo, también encontramos al estadístico de series de tiempo la cual permite identificar las posibles estimaciones en el tiempo a fin de identificar disparidad en ellas.

Otro punto importante en los datos de entrada corresponde a la selección de variables regresoras que integran al modelo para evitar valores colineales que en umbrales de concentración altas o bajas puedan tener errores altos en las estimaciones obtenidas (Wang et al., 2023). La colinealidad afecta a la varianza de los errores, ya que en cada apartado presenta diferente dispersión, y como consecuencia las concentraciones de SST estarán lejanas a la realidad del sitio que se encuentra estudiando.

3.1.2 Técnica de Ward

Una vez validados los datos de entrada para la construcción de los modelos regionales, se debe de buscar la técnica de asociación. Una de las que proporciona mejor ajuste en la asociación de reflectancia con SST corresponde a la Técnica de Ward que trabaja bajo la varianza de los datos estudiados (ecuación 1)

$$Cp = \sqrt{\frac{(X_{min} - \overline{xmin})^2 + (X_{máx_n} - \overline{Xmax})^2 + \dots + (X_{prom_n} - \overline{Xprom})^2}{n}} \quad (1)$$

Donde cg = asignación de clúster, X_{min} = valor mínimo de los SST, $X_{máx_n}$ = valor máximo de los SST, X_{prom_n} = valor promedio de los SST, $\bar{x}_n$ = valor promedio de la variable n

La evaluación de la construcción de clústers está en función de las varianzas identificadas como adecuada, así como la distancias que existen entre los cuerpos de agua que integran el clústers. Sin embargo, también es importante describir y analizar los resultados en relación con el objetivo propuesto. Para el caso de la construcción de modelos de regresión se debe de identificar si no hay modelos diseñados por los autores que afecten a la capacidad explicativa del modelo regional.

3.1.3 Análisis de correspondencia y regresiones

Una vez creado los grupos homogéneos por la técnica estadística considerada, se debe de realizar pruebas en la creación del modelo regional para observar el papel de cada cuerpo de agua que lo integra. Lo anterior, debido a que integrar cuerpos de agua estudiado bajo diferentes expresiones algebraicas (logarítmicos, exponenciales, cuadráticos, etcétera) genera complejidad al momento de integrarlo en una sola expresión, afectando a la capacidad explicativa obtenida.

Por lo tanto, si existen CA que afecten a las estadísticas deben de ser valorada, si dejarlas en el grupo asignarlo o bien en aquellas donde el ajuste explicativo resulte adecuado (análisis de correspondencia). La reubicación del CA debe ser valorada en función de la dispersión y concentraciones de los SST obtenidos en la modelación mediante regresiones.

Los modelos de regresión para la explicación de regional pueden ser de manera lineal y no lineal considerando la naturaleza física de los SST, así como la de los datos. Dentro de ellas, se encuentra expresiones potenciales, exponenciales para ajustar los modelos locales y obtener una capacidad explicativa más alta. Además de ello, la selección de variables regresoras se basa en las características físicas de reflectancia de las concentraciones de SST para comprender la lógica y las relaciones entre la longitud de onda y los SST (tabla 3.1).

Tabla 3.1. Regresiones consideradas en la presente investigación.

Agua	Tipo	Ecuación	Fuente
Léntico y lótico	Regresión lineal múltiple	$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \beta_3 * x_3 + \dots + \beta_n * x_n + u$ (2)	(Walpole & Myers, 1989)
	Regresión lineal transformado múltiple	$Log(\hat{y}) = \beta_0 + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \beta_3 * x_3 + \dots + \beta_n * x_n + u$ (3)	(Zeiny & Kafrawy, 2016; Graver & Boren, 1967)
Léntico y lótico	Regresión polinómica múltiple	$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \beta_3 * x_1^2 + \beta_4 * x_2^2 + \beta_5 * x_1 x_2 + \dots + \beta_n * x_n^n$ (4)	(Walpole & Myers, 1989)
Léntico y lótico	Otras regresiones	<i>Modelo n</i> (5)	(Walpole & Myers, 1989)

Simbología: coeficientes empíricos (β_n), reflectancia a cierta longitud de onda (x_n^n) y PCA estimada ($\hat{y}$).

3.1.4 Validación cruzada

Como paso posterior a la detección del modelo regional que mejor explica los datos, el modelo encontrado debe someterse a la validación cruzada para calibrar los coeficientes de las variables regresoras y origen de la pendiente, con la finalidad de observar estadísticos adecuados en el análisis de los sets de entrenamiento y de prueba (figura 3.2). Los estadísticos de evaluación y validación que sobresalen son la raíz del error cuadrático medio (RMSE), error cuadrático medio (MSE), sesgo (BIAS), bias relativo (RBIAS), entre otros (Cruz, 2019; Rahman & Rahman, 2020; Rahman & Rahman, 2020). Por su parte la validación del modelo continental estará basada técnica de validación cruzada en los resultados obtenidos (Gil, 2018).

	i=0	i=1	i=4	$\bar{\beta}$	Simbología: número de iteraciones (i), coeficientes de la regresión (β_n) y error del modelo expresado por el RMSE
β_{00}	β_{01}	β_{02}	β_{nn}	$\frac{\beta_0}{\beta_0}$	
β_{10}	β_{11}	β_{12}	β_{nn}	$\frac{\beta_1}{\beta_1}$	
β_{20}	β_{21}	β_{22}	β_{nn}	$\frac{\beta_2}{\beta_2}$	
β_{30}	β_{31}	β_{32}	β_{nn}	$\frac{\beta_3}{\beta_3}$	
β_{nn}	β_{nn}	β_{nn}	β_{nn}	$\frac{\beta_n}{\beta_n}$	
E_n	E_0	E_1	E_{nn}	E_n	

Figura 3.2. Set de entrenamiento en la validación cruzada.

Los estadísticos más utilizados para comprender el alcance de los modelos son el Coeficiente de Eficiencia de Nash-Sutcliffe (E), raíz del error cuadrático medio (RMSE) y Error porcentual absoluto medio (MAPE) y validación cruzada (tabla 3.2).

Tabla 3.2. Estadísticos representativos para la evaluación de las regresiones

Estadístico	Fórmula	Descripción												
Coeficiente de Eficiencia de Nash	$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_o - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_o - \bar{Y}_o)^2} \quad (6)$	El coeficiente de Eficiencia de Nash-Sutcliffe (E) es la relación entre las unidades cuadradas absolutas entre los valores pronosticados y observados de los SST normalizados por la varianza de los valores observados durante el período investigado (ecuación 6; Krause et al., 2005). Cuando el coeficiente <i>E</i> presenta un valor cercano a 1 (tabla 3.4) el modelo es excelente y cuando el valor es cercano a cero la eficiencia del modelo es nulo o muy bajo (Cabrera, 2015). Para el caso del modelo continental de SST el número de iteraciones de este parámetro estará en función de la disparidad del promedio total, la cual es representativa cuando alcanza un coeficiente E de 0.9 (tabla 3.4). Donde <i>E</i>: coeficiente de Nash y Sutcliffe, <i>Y_o</i>: Valor medido en el modelo continental obtenido por ACP, <i>Y_i</i>: corresponde al valor estimado después de la validación por validación cruzada (n iteraciones) y $\bar{Y}_o$: valor promedio de los medidos (Cruz, 2019) Tabla 3.1. Valores referenciales del Criterio de Nash-Sutcliffe. <table><tr><th>E</th><th>Ajuste</th></tr><tr><td>>0.8</td><td>Excelente</td></tr><tr><td>0.6-0.8</td><td>Muy bueno</td></tr><tr><td>0.4-0.6</td><td>Bueno</td></tr><tr><td>0.2-0.4</td><td>Satisfactorio</td></tr><tr><td><0.2</td><td>Insuficiente</td></tr></table>	E	Ajuste	>0.8	Excelente	0.6-0.8	Muy bueno	0.4-0.6	Bueno	0.2-0.4	Satisfactorio	<0.2	Insuficiente
E	Ajuste													
>0.8	Excelente													
0.6-0.8	Muy bueno													
0.4-0.6	Bueno													
0.2-0.4	Satisfactorio													
<0.2	Insuficiente													
Comparación	$SST_{rec\ en\ campo} \left(\frac{mg}{L} \right) = SST_{est.\ cont} \left(\frac{mg}{L} \right) + e \quad (7)$	Para las validaciones no paramétricas se consideraron algunos muestreos de algunos cuerpos de agua. Específicamente, a través de diversos cuerpos de agua que se encuentran presentes en la república mexicana estudiados por la CONAGUA (2021), Hernández (2017) & Esparza (2018; ecuación 7).												
MAPE	$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left \frac{At - Ft}{At} \right \quad (8)$	De acuerdo con Hastie et al (2017) y Gerón (2017) la raíz del error cuadrático medio (RMSE) permite medir los errores proporcionado por el modelo continental considerando la desviación estándar del sistema de predicciones; mientras tanto el error absoluto medio porcentual (MAPE) por lo tanto ayuda a identificar que tan alejando se encuentra cada uno de los muestreos considerados (ecuación 8).												
RMSE	$RMSE_{(i)} = \sqrt{\frac{1}{i} \sum_{i=1}^i (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (9)$	Donde: MAPE, es el error absoluto medio porcentual, n, número de veces que se produce la iteración de la suma. <i>At</i>, valor real, <i>Ft</i>= valor previsto (Hastie et al., 2017; Géron, 2017) Para el caso del RMSE permite identificar el grado de error que adquiere el modelo cuando (ecuación 9). Donde $\hat{y}_i$ es el valor estimado para <i>y_i</i>, entonces $(y_i - \hat{y}_i)^2$ denota el error en la iteración <i>i</i>-ésima, <i>i</i>: número de muestras consideradas en el entrenamiento del modelo. Nota: de manera general, cuando aumenta el número de iteraciones para la calibración del modelo el tamaño del error tiende a ir disminuyendo (figura 3.5.1).												

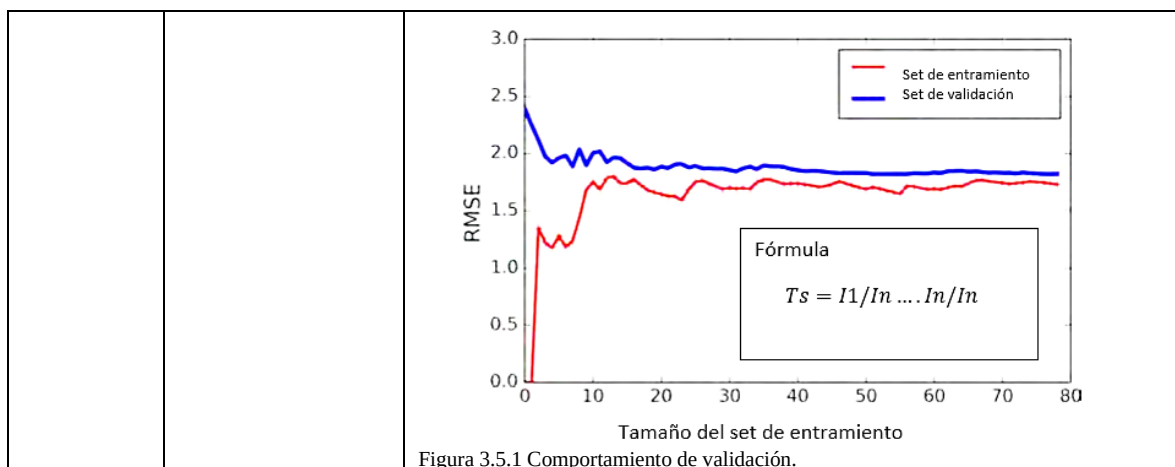


Figura 3.5.1 Comportamiento de validación.

3.2 Caracterización

Cuando se construyen modelos de regresión de algún sitio es importante describir las características del lugar ya que, los coeficientes de dichos modelos podrían funcionar únicamente para este sitio (López et al., 2021). Considerando el supuesto anterior, cuando se crean modelos regionales es importante caracterizar las condiciones de los sitios que la integran, ya que puede ayudar a comprender las variables influyentes en el área que lo integran que se encuentren en áreas cercanas a ellas (Yang et al., 2020). Normalmente los modelos regionales son determinados por clústers esenciales para agrupar reflectancias y concentración de SST. Dentro de los tipos de clústers se encuentran los no jerárquicos y jerárquicos¹¹. Dentro de los no jerárquicos se encuentra la técnica k-means, en relación con los clústers jerárquicos se encuentran, la máxima probabilidad; que ajusta las regiones en función de la media poblacional en funciones de probabilidad. Permite agrupar a los CA en función de la posibilidad de agruparse por el centro del clústers óptimo (Alonso, 2015; Pérez, 2017).

La aplicación de los modelos regionales en cuerpos de agua diferente a los modelados puede basarse en función de variables ambientales y umbrales de reflectancia significativas diferentes. Para el caso de los SST, las variables ambientales que pueden estar influyendo en los SST corresponde a la temperatura mínima, promedio y máxima, temperatura ambiental de la superficie de agua, dirección del viento, radiación solar, vapor de agua, altitud, precipitación y B5 (tabla 3.3).

¹¹ Dentro de los clústers jerárquicos se encuentran máxima probabilidad, mínima distancia, Chebchev, Ward, medida de Ochiai, medida de Russell y Rao, medida de Parejas simples, medida de Jaccard, distancia de Minkowski, distancia de Mahalanobis, distancia de Chebchev o del máximo, coseno del ángulo de dos vectores, etc. (De la Fuente, 2011). Cada una de ellas permite discriminar las variables de formas distintas; para distinguir las variables de forma representativa dependerá del autor y el tipo de variables que se están utilizando.

3.2.1 Variables ambientales e hidrológicos

Table 3.3. Variables ambientales que intervienen en el comportamiento de los SST. Elaboración propia.

Var. Ambientales	Fuente	Unidad	Lmín	Lmáx	S	$\bar{X}$	r	Comp. Con SST
Temperatura mínima	WorldClim (1 km)	°C	-18.37	27	2.12	21.23	0.27	Si existe fitoplancton la reflectancia disminuye en el visible afectando el comportamiento de la temperatura y SST
Temperatura promedio	WorldClim (1 km)	°C	1.16	34.9	1.17	19.23	0.29	Afectado por el brillo de la radiación solar directa: temperatura de brillo.
Temperatura máxima	WorldClim (1 km)	°C	-14.4	38.9	2.35	29.45	0.43	Afectado por la velocidad del viento: Afecta a la medición de esta variable ya que la medición de la reflectancia está influenciada por el valor de brillo.
Temperatura del cuerpo de agua	MODIS (1 km)	°C	21.12	44.15	5.59	14.44	0.36	La temperatura del cuerpo de agua influye en la concentración de SST del cuerpo de agua, sin embargo, se debe considerar la profundidad del cuerpo de agua y la dimensión del cuerpo de agua. a menor temperatura del cuerpo de agua en general los SST tienden a depositarse en la parte profunda en los cuerpos de aguas lóaticos
Dirección del viento	WorldClim y FAO (1 km)	m s-1	0.42	6.6	0.33	2.9	0.51	En relación con los vientos se asocia a características tiene relación con el comportamiento de la reflectancia del lugar ya que al existir mayor humedad en el sitio la estimación de SST se ve influenciada por el comportamiento atmosférico del lugar
Radiación solar	World Clim (1 km)	(mmKJ m-2 day-1)	0	1.97	4.11	1.38	0.44	Permite calibrar los valores de reflectancias de cada sitio al considerarlos en la corrección atmosférica. Por lo tanto, las reflectancias obtenidas son valores más cercanos a los del cuerpo de agua (valores expresados en (g/cm ²).
Vapor de agua	WolrdClim (1 km)	(kpa)	4.42	53.69	12.68	16.56	0.36	El vapor de agua tiene relación con la HR A mayor concentración de VA las reflectancias de las bandas cambiara la firma espectro. Lo anterior debido al comportamiento ambiental no por los SST del cuerpo de agua.
Altitud	WolrdClim (1 km)	m	0	2810	3.1144	1400	0.41	Por medio de las diferencias altitudinales el comportamiento de la temperatura y componentes químicos del agua cambian significativa. Por ejemplos en cuerpos de agua con mayor altitud msnm la temperatura será mucho menor a una de superficie. Además de la fauna acuática será diferente. Aguas con temperaturas altas: Dificulta la medición de SST, ya que las longitudes de onda podrían incrementar su reflectancia, pero no por los SST sino por las condiciones de temperatura
Precipitación	WolrdClim (1 km)	mm	0	1600	3.12	700	0.321	La ventaja de la precipitación en el estudio de calidad del agua para este estudio se centra en la reflectancia captado por el sensor. Lo anterior debido a que en sitios con influencia de precipitación indican presencia de diversos tipos de nubes en la atmósfera, la cual genera una capa de aerosoles en la atmósfera que puede afectar al cálculo de la reflectancia de la superficie por el sensor remoto.
B5	USGS	$\left(\frac{w}{m^2 * sr * \mu m}\right)$	0	0.54	1.23	0.172	0.35	Corresponde a la energía reflejada en superficie a la longitud de onda de 0.85-0.88 [μm] que puede ser captado por diversos sensores remotos.

Simbología: Límite mínimo encontrado (Lmín), límite máximo encontrado (Lmáx), desviación estándar (S), media de los SST ($\bar{X}$), variables ambientales (V.A.). Basado en Fernández & Moreira, (2014); Estruch, (2010); Kramer et al., (1972); DOF, (1996); ZhonPing et al., (2015); Ambiga & AnnaDurai, (2015); Mohamed et al., (2019); Briceño et al., (2018); Phoung et al. (2017) & Karaoui et al., (2019); Clevers & Gitelson (2013); Harrington & Schiebe, (1992). Nota. Los datos descargados de los distintos portales presentan un formato de GeoTiff (.tif) con una resolución de 30 segundos (1 km²).

Para los cálculos de las diversas variables ambientales únicamente se utilizarán los valores promedio de cada variable ambiental a nivel mensual y se almacenará en una base de datos considerando el identificador (ID), de cada cuerpo de agua (tabla 3.4). Posteriormente se analiza de acuerdo con la temporalidad consiste a la construcción de modelos regionales.

Tabla 3.4. Modelo de tabla propuesto para almacenar los datos de los promedios variables ambientales (VA)

ID	Nombre	Vapor de agua			Vientos			Temperatura mín. ambiental			Temperatura med. ambiental			Temperatura máx. ambiental			Temperatura del c. de agua			Otros			Consideraciones
		Mín	...	Máx	Mín	...	Máx	Mín	...	Máx	Mín	...	Máx	Mín	...	Máx	Mín	...	Máx	Mín	...	Máx	
1	Cuerpo de agua "NOMBRE 1"																						Los posibles grupos finales se analizarán en temporada mensual estacional y secas y lluvias
2	Cuerpo de agua "NOMBRE2"																						
3	Cuerpo de agua "NOMBRE3"																						
n	Cuerpo de agua "NOMBRE n"																						

Simbología: mínimo (mín.), medio (med.) y máximo (máx.). Basado en Fernández & Moreira, (2014); Estruch, (2010); Kramer et al., (1972); DOF, (1996); ZhonPing et al., (2015); Ambiga & AnnaDurai, (2015); Mohamed et al., (2019); Briceño et al., (2018); Phoung et al. (2017) & Karaoui et al., (2019); Clevers & Gitelson, (2013); Harrington & Schiebe, (1992).

El comportamiento de las variables ambientales influye en las reflectancias captadas por el sensor multiespectral, a partir de lo anterior permite la formulación y estudio de las bandas multiespectrales que pueden estar, influyendo en los SST. En los siguientes párrafos se explica la relación de los SST con las reflectancias, así como la relación entre otros parámetros de calidad del agua.

3.2.2 Comportamiento de las variables ambientales con los SST

La homogenización de las variables ambientales (VA) pueden estar influenciadas por la cantidad de energía que reflejan cada una de ellas (Chang et al., 2015). Por ejemplo, los diferentes pigmentos de clorofila (figura 3.3A) indican diferente cantidad de energía reflejada de acuerdo con diversos tipos de agua. Para la figura 3.3B se puede notar algunos PCA como la clorofila, mareas y profundidad. Por ejemplo, para cuerpos de agua con alto contenido de Chl-a el agua reflejara mayor energía en las longitudes de onda de 450 a 500 nm por lo tanto se debe tener cuidado en analizar la pertenencia a Chl-a o los correspondiente a SST.

El contenido de clorofila puede afectar la estimación de los sólidos suspendidos totales, ya que la presencia de afloraciones algales modifica el comportamiento de las reflectancias en la longitud de onda de 0.85-0.88 μm (banda 5 Landsat 8 o Sentinel 2A) que mejor discrimina la presencia de SST. Además de las afloración algales también la profundidad los cuerpos de agua tendrán relación en las longitudes de onda de los 400 a 450 nm (IOCCG, 2012) que en combinación con la longitud de onda de 0.85-0.88 μm ayuda a recuperar los SST que por si sola la longitud de 0.85-0.88 μm no puede detectar en las reflectancias.

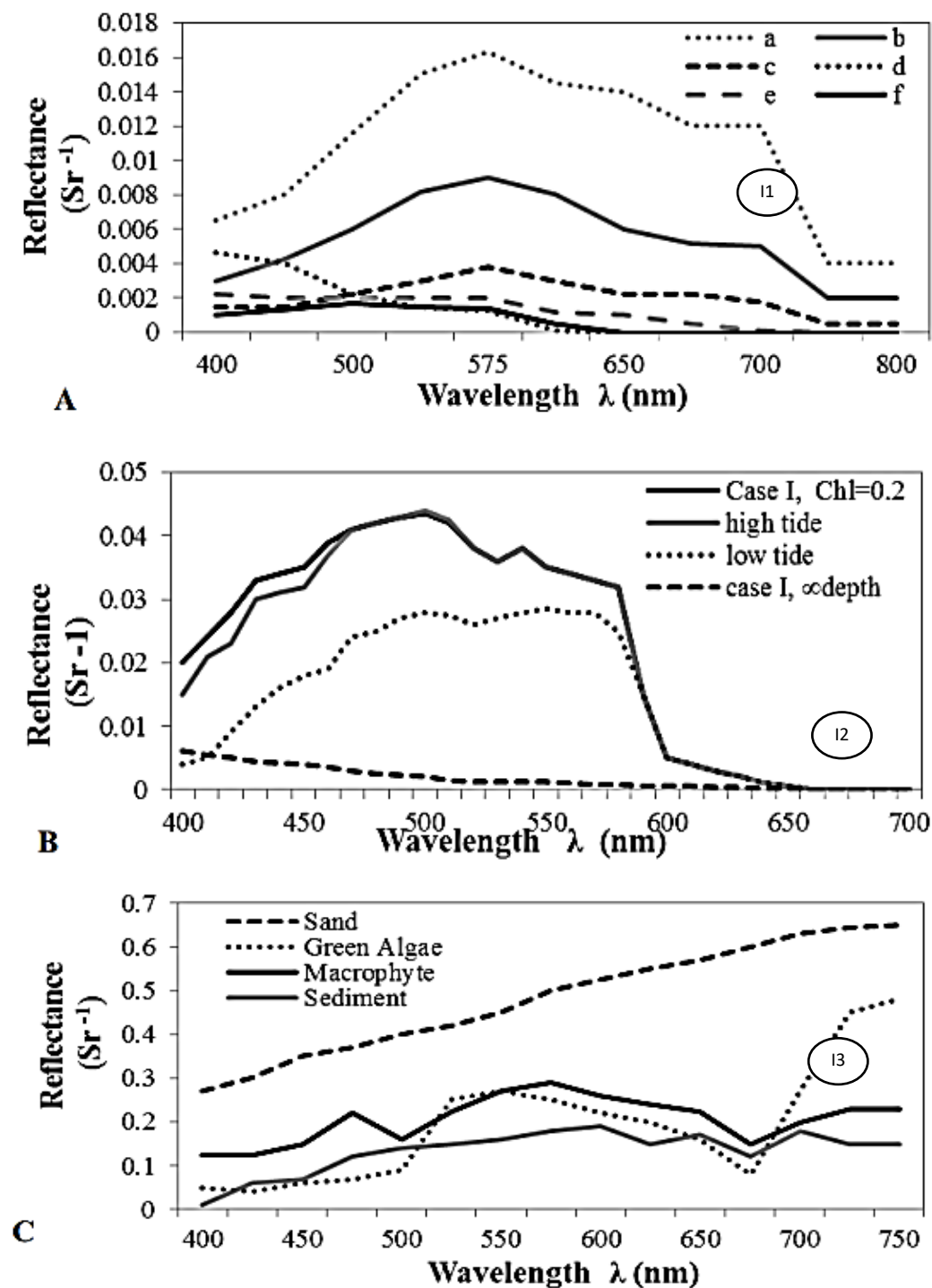


Figure 3.3 Efecto de los nutrientes en la calidad del agua a) comportamiento de la reflectancia en la calidad del agua, b) comportamiento de chl-a en el agua y diversas profundidades del agua y c) plantas acuáticas USEPA, 2002).

Existen longitudes de onda para discriminar diferentes variables ambientales y PCA. Para el caso de los SST las longitudes con mayor aporte a la discriminación son los 600 a 700 nm (figura3.4).

Mientras tanto las longitudes de onda que menor aportan al estudio de los SST son los 1000 y 1200 nm.

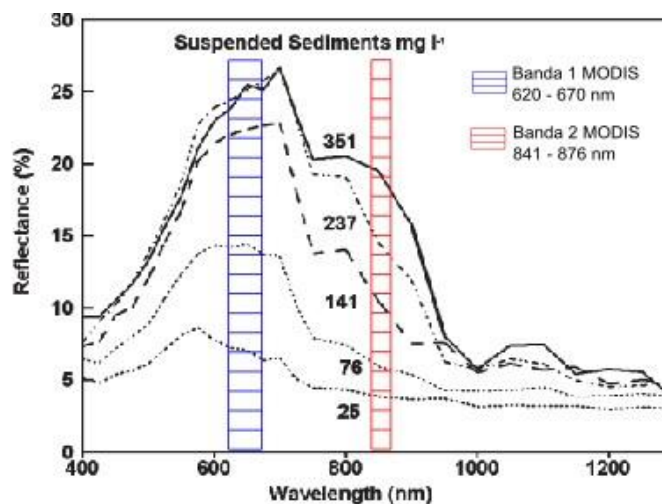


Figura 3.4 Comportamiento de la reflectancia del agua con diversas concentraciones de sedimentos, en azul y rojo se ubican el ancho de las dos primeras bandas del sensor MODIS. Imagen adaptada de Ritchie et al. (1976).

3.2.3 Diferencias significativas

Las variables ambientales significativamente diferentes permiten utilizarlas para distinguir los modelos regionales, a partir de ello, los cuerpos de agua que no tengan un modelo local pueden tener estimaciones por medio de un modelo regional con la cual comparte variables significativamente diferentes. Mientras tanto, las variables ambientales que no aportan diferencias marcadas generan complejidad en la caracterización de los modelos regionales (Walpole y Myers, 2006). Dichas variables ambientales pueden considerarse desde la temperatura ambiente (mínimo, máximo y promedio), vapor de agua del agua del sitio, radiación solar, vegetación en el sitio, vientos, precipitación, altimetría, entre otras. Estas variables presentan diversos datos que a través de pruebas de significancias basadas en la t de student, se puede identificar los grupos que son diferentes y por lo tanto, toma relevancia para caracterizarlos bajo las variables que presenten estas condiciones (Mun, 2012).

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La figura 4.1 muestra las cinco etapas de la metodología para la estimación de sólidos suspendidos totales (SST) a nivel regional con base en las reflectancias obtenidas por sensores remotos correspondiente a Landsat y Sentinel 2A. El método propuesto utiliza la información de diversos modelos locales a nivel mundial para la construcción de distintas regiones con características ambientales similares entre ellas.

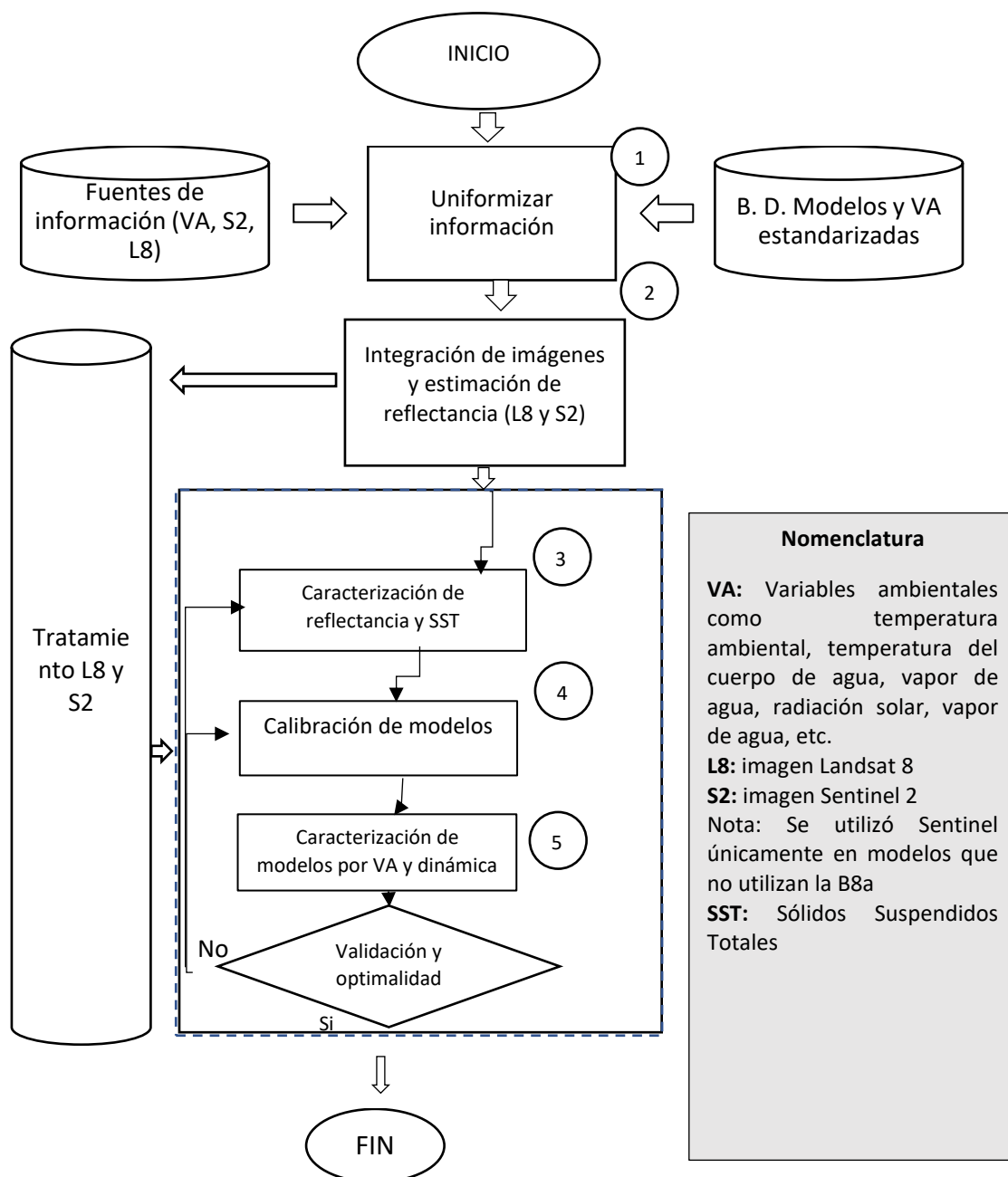
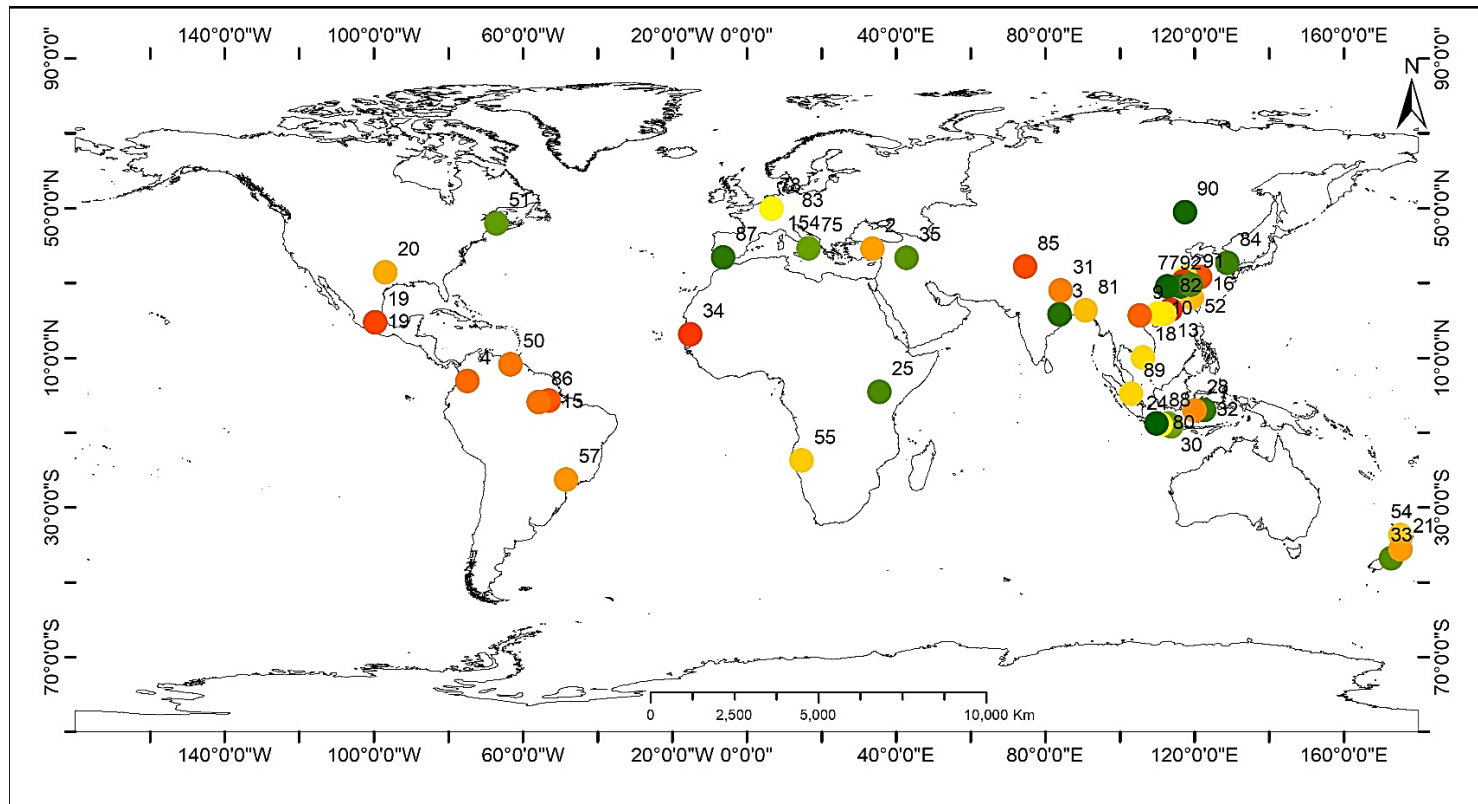


Figura 4.1. Diagrama metodológico para la elaboración de un modelo continental para estimar SST.

4.1 Uniformizar información (etapa 1)

La variación en las características espaciales y temporales de la información encontrada en los cuerpos de agua sugiere que la uniformización de los datos sea orientada y estructurada en función de su escala, formatos, tamaño, es decir de forma similar a procedimientos seguidos por Sundarabalan et al. (2020); Mukhtar & Yassen (2019) y Sánchez et al. (2016). Lo anterior permite que el conjunto de datos recolectados (2013 a la fecha) presente unidades adecuadas que puedan ser utilizadas en las operaciones estadísticas requeridas en etapas consecuentes. Una vez organizada los datos con la misma estructura, se genera una base de datos de la información recopilada de cada cuerpo de agua con: ecuaciones de regresión, coordenadas geográficas, temporalidad, rango de concentraciones (mín., máx., media) y dinámica de agua. El presente estudio contempla el análisis de un total de 42 cuerpos de agua, entre los que se encuentran Rio Orinoco, Venezuela (Yépez, 2018), la Presa J.A. Alzate, México (Cruz, 2019), Lago Urabá, Colombia (Carmina, 2015) y Wadaslintang Reservoir (Fauzy & Wicaksono, 2021) entre otros. De cada cuerpo de agua (CA), se extrae una cantidad de pixeles basadas en muestras representativas para muestras grandes (Rojo, 2007; Walpole & Myers, 1989) $n = \frac{k^2 * P * Q * N}{e^2 * (N-1) + k^2 * P * Q}$, que se compone del grado de confianza de las muestras (k), grado de desconfianza entre los datos (P), error estimado (Q) y el número total de la población. Los CA se muestran en la figura 4.2 y su referencia en la tabla 4.1.

Además de las características mencionadas anteriormente, es importante resaltar que estos cuerpos de agua se encuentran en zonas continentales. Estos cuerpos de agua se encuentran en el rango de latitud entre 0 a los +- 60° de latitud y con altitudes que van desde los 0 msnm a los 3572 msnm.



Simbología

- | | | | | | |
|--|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 10 Hedi Reservoir BasinZhanjiang | 21 Lakes Onoko and Wairarapa | 31 Bijayapur Khola | 52 Fuzhou City | 78 Rhine River | 88 Wadaslintang Reservoir |
| 13 Moyangjiang River Estuary | 24 Boundary of Indonesian | 32 Kendari Bay | 54 Waikare | 80 Gajahmungkur Reservoir, Indonesia | 89 Kampar River estuary |
| 15 Tapajós River Basin in the Brazilian Amazon | 25 Chebara Dam | 33 LYTTTELTON HARBOUR | 55 Oloshiganda Cuvelai-Etoshia Basin | 81 Hugli estuary | 9 Red River basin (Northern Vietnam) |
| 16 Estuary of Yangtze River in East China | 26 Lake Taihu | 34 Senegal River Basin B | 57 Piracicaba and Tietê rivers i | 82 Lake Dongting | 90 Hulun Lake |
| 18 Mekong River - Mekong Delta in Viet Nam | 28 Lake Tempe, South Sulawesi | 35 Mosul Dam Lake | 74 Shengjin Lake | 84 Nakdong River | 91 Xin'anjiang Reservoir |
| 19 P. J. A. Alzate, México | 29 Pearl River Estuary | 4 Embalse de Pradp, Tolima | 75 Basilicata, Italia | 85 Wular Lake Himalayan Lake | 92 Dongting Lake in China (PARTE B) |
| 2 Hirfanli Water Reservoir | 3 Rio Brahmani, Orissa | 50 Orinoco River, Venezuela | 76 Chaohu Lake. | 86 Amazonas Lake Paru | |
| 20 Lady Bird Lake. | 30 Sidoarjo Regency | 51 Saint John River (SJR) | 77 Poyang Lake, China | 87 Peninsula y Río Guadalquivir | |

Figura 4.2 Cuerpos de agua considerados en el proyecto. Elaboración propia.

Los filtros utilizados para la selección de los modelos locales están basados en la reflectancia correspondiente a distintas longitudes de onda, cuya relación varía según los coeficientes estimados para cada área de estudio, tipo de satélite, superficie, resolución, tamaño de muestra, bandas, tipo de regresiones, evaluación y autores (tabla 4.1). Sin embargo, en la capacidad explicativa todos son relevantes ya que demuestran una $R^2 \geq 0.65$ por lo tanto, se pueden considerar como modelos confiables en la integración de un “modelo regional”.

De manera general los modelos regionales se diseñaron bajo un total de 148 imágenes Landsat y 72 imágenes Sentinel (figura 4.3a). Con base en el total de modelos considerados el 35% son lineales y muy bajos en modelos logarítmicos (1.3%) y potencial (2%; figura 4.3b). En relación con la superficie de agua y tipo de ecosistema 31 son lagos sin embargo a nivel poblacional de pixeles se encuentra por debajo de los 5 millones de solo las presas son las que presentan población de 30 millones de pixeles en 8 CA (figura 4.2c).

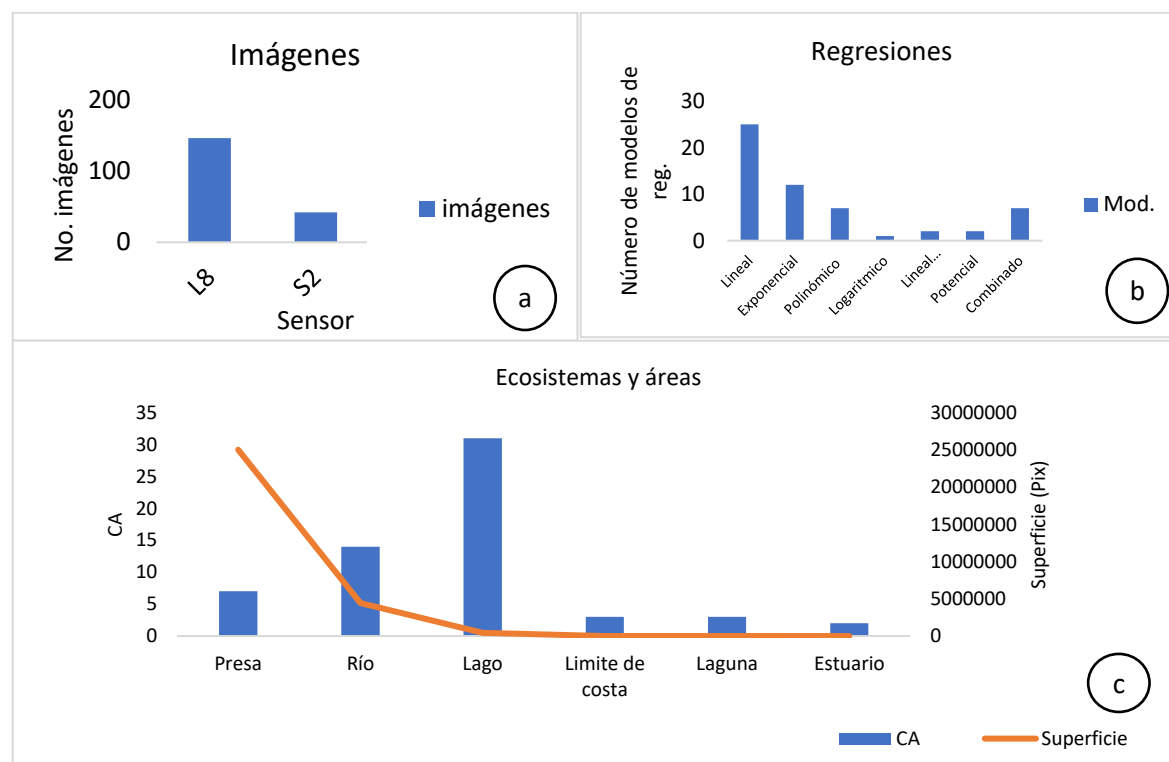


Figura 4.3. Resúmenes de los CA en función de disponibilidad de imágenes, regresiones, ecosistemas y áreas.

Tabla 4.1. Modelos de regresión representativos integrados para el modelo continental

ID	Nombre	Sensor	Tamaño de muestra (n)	Superficie (ha)	Modelo	Tipo de regresión	Evaluación	Otros estadísticos	Muestra	Referencia
19	Presa. J. A. Alzate, México	L8	14	160 ha	$SST (mg/L) = -72.7941 + 1695.6659 * B3 + 36.5896 * (B3/B5) + 51578.9958 * B3^2 + 143.8716 * (B3/B5)^2 - 6246.6175 * ((B3) * (B3/B5))$ $Log SST (mg/L) = 2.084802023 + 0.338975855 * (B7/B4) - 1.316551882 * (B7/B5)$	Polinomial múltiple Lineal múltiple	$\bar{R}^2 = 0.9855$ $R^2 = 0.6125$		M	Cruz, 2019
2	Hyrfarli Dam	EO1-ALI	20	26300 ha	$\hat{Y} = 252.618 - 0.078 * B2 - 0.229 * B3 - 0.032 * B4 + 0.216 * B5 + 0.070 * B6 - 0.065 * B7$	Lineal múltiple	$R^2 = 0.95$			(Kavurmaci et al., 2013)
3	Brahmani River Basin, Ethiopia	L8	26	2670000 ha	$\hat{Y} = 4.10B2^{1.70} - 3.82B4^{0.11} + 0.16(B2/B4)^{-3.0} + 4.67$	No lineal múltiple	$R^2 = 0.51$			Swan & Shahoo, 2017
4	Embalse de Prado, Tolima Colombia	L8	146	675 ha	$\hat{Y} = -229.34(B3/B5)^3 + 1001.65(B3/B5)^2 - 1422.2(B3/B5) + 665.17$	No lineal	$\bar{R}^2 = 0.9643$			Ruiz, 2015
9	Red River basin in Northern Vietnam	L8	60	60 ha	Lluvia $SSC = 2.73 * e^{(3.11 * (B4/B3))}$ Secas $SSC = 4.24 * e^{(2.53 * ((B4 + B5)/B3))}$	Exponencial	$R^2 = 0.75$ $R^2 = 0.76$			Pham et al., 2018
10	Inland Reservoir across Administrative Boundary in South China	L8 & S2	49	144000 ha	$\hat{Y} = 172.191 * \ln^2[(b3)/(b4)] - 190.809 \ln[(b3)/(b4)] + 61.6$ $\hat{Y} (mg/L) = -16.517 * \ln[1 - (b4)] - (-1(b3))/(b2)] - 8.363$	No lineal y lineal	$R^2 = 0.81$			Zhao et al., 2020
11	Coastl Water Bombana, Southeast Sulawesi	L8	5	212 ha	$\hat{Y} (mg/L) = 1384.73824 * (B3/B2) - 601.56333$	Lineal	$R^2 = 0.569$		M	Jaelani et al., 2016
12	Hirfanli Dam Lake, Turkey	EO-1 ALI	20	2670000 ha	$\hat{Y} = 252.618 - 0.078 * B2 - 0.229 * B3 - 0.032 * B4 + 0.216 * B5 + 0.070 * B6 - 0.065 * B7$	Lineal simple	$R^2 = 0.95$		M	Kavurmaci et al., 2013
13	Estuaries and Senegal in China	L8	84	46 ha	$Log(\hat{Y}) (mg/L) = -0.3575 * (log(B5))/(log(B4))^2 + 1.1135 * (log(B5))/(log(B4)) + 0.7162$ Orto por pendiente	Polinómica	$R^2 = 0.7181$			Wang ET AL., 2017
15	Tapajós River Basin in the Brazilian Amazon	Landsat MSS/TM/ L8	39	20000000 ha	$\hat{Y} (mg/L) = 2.64 * (B4 - 2.27)^{0.45}$	No lineal	$R^2 = 0.94$	RMSE=1.39		Lobo et al., 2015
17	Pajenekang Island, Sanane, Bontosua, Ballang Lompo and Ballang Caddi	L8	Más de 63		$\hat{Y} (mg/L) = 8.1429 * (e^{(23.704 * 0.94 * B4)})$	Exponencial				Nurdin et al., 2019
18	Mekong River – Mekong Delta in Vietnam	S2 ^a	32 modelo 10 temp=42	1950000 ha	a) $SST (30/7/2019) = 412.97x2 - 177.19x + 24.18$, $R^2 = 0.92$ b) $SST (19/8/2019) = 1309x2 - 778.4x + 150.81$, $R^2 = 0.83$ $X = NSMI = (B4 + B3 - B2) / (B4 + B3 + B2)$	Polinómica	$R^2 = 0.92$ $R^2 = 0.83$			Nguyen et al., 2020
20	Lady Bird Lake, Austin, Texas, USA	L8	4 sitios de análisis (28)	28.8 ha	$SST = (-0.67 + 1.67 * (B3/B1) + 0.21 * W + 0.038 * (Ts - Tmean))^2$	Cuadrática/polinomial	$R^2 = 0.70$	VIF<1.21		Cheng Tu et al., 2018
21	Lake Onoke and Wairarapa	Landsat 7 and 8	Mas de 50	8.7 ha	$SST = 2.24e^{(59.04 * B3)}$	Exponencial	$R^2 = 0.97$	RMSE 16.62 mg/L		S/N, 2020
24	Bedadung River, Jember District of Indonesia	S2A	No indica	870 ha	$SST (mg/L^{-1}) = 8.1744 * e^{(23.738 * B4)}$	Exponencial	$r = 0.793$			(Cahyono et al., 2019)
25	Chebara Dam-basin,	L8 & S2A	18	6.3 ha	Sentinel= $y = 93011x^2 - 82773$ $X = ((B4 + (B8/B4))/2) + 18442$, $R^2 = 0.6133$ Landsat= $y = 2454.1(B3/B2) - 1584.4$, $R^2 = 0.9249$	Polinómicas, lineales, logarítmicas	$R^2 = 0.6133$ $R^2 = 0.9240$	Sent=RMSE=8.3845 Land=RMSE=3.318		(Ouma et al., 2020)

Tabla 4.1. Modelos de regresión representativos integrados para el modelo continental (continuación)

ID	Nombre	Sensor	Tamaño de muestra (n)	Superficie	Modelo	Tipo de regresión	Evaluación	Otros estadísticos	Muestra	Referencia
26	Chesapeake Bay Water	L8	Más de 50	156 ha	$\hat{Y} \text{ (mg/L)} = 531.5 \times pw(665) \text{ (Type-I\&II)} \{37,150 \times pw(865)2\} + \{1751 \times pw(865)\} \text{ (Type-III)}$	Lineales (varios)		RMSE=0.33		(Balasubramanian et al., 2020)
28	South Sulawesi	S2B	24	214 ha	$X = NSMI = (B4+B3-B2/B4+B3+B2)$ $\hat{Y} \text{ (mg/L)} = 775.98x-93.606$	lineal	$R^2 = 0.1194$	deviation of 24.43188		(Pandhadha et al., 2019)
29	Pearl River Estuary, China	EO-1 ALI	9	111 ha	$SST = -1229.5*(B5)+53759$	Lineal	$R^2=0.91$		M	(Fang et al., 2010)
30	Porong River, Sidoarjo	S2 & L8	9	Más de 30 km= 90 ha	$SST \text{ (mg/l)} = 31.420 (\log BoA(B2)/\log BoA(B4)) - 12.719 (2)$	lineal	$R^2 = 0.5249$		M	(Bioresita et al., 2018)
31	Jatiluhur Reservoir, Indonesia	L8	26	12000 km ² =12000 ha	$\hat{Y} = 31.7026 + 234.25B3 - 117.23B11 + 542.45B4$	Lineal simple	$R^2=0.66$			Permatasari et al., 2019
32	Large, Shallow Lake	S2B and L8	25	1200000 ha=271.76 km ²	$L8 \text{ SST} = 257.57e^{21.56(B4)}$ $S2B \text{ SST} = 165.81e^{19.546(B4)}$	exponencial	$R^2 = 0.6653$ $R^2 = 0.5358$		M	(Nurgiantoro et al., 2019)
33	Lyttelton Harbour	MODIS, L8 transformado	22	54.12 ha	$SST = 74.27*B4^{0.7203}$ $SST = 74.27*BBP^{0.7203}$	Potencial	$R^2 = 0.9217$		M	(Pinkerton et al., 2014)
34B	Coastal Ujung Pangkah Gresik	L8	20	2.147 km ²	$SST \text{ (mg/l)} = 637.52*B4 - 7.8454$	Lineal (varios tipos)	$R^2 = 0.883$		M	(Wibisana et al., 2018)
34	Senegal River Basin	L8	13 sitios de análisis	50 ha	$B5 = 256.46 \times TSS^{0.3539} \text{ g/m}^3$ $TSS = 256.46 * B5^{0.3539}$	potencial	$R^2 = 0.91$	RMSE=389.2, BIAS=-27.9		Faye et al., 2020
35	Mosul Dam Lake	L8	22 con 5 temporadas	28 km=2800 ha	$SST = 6.579196666 + 55.74020233*B4 + 2.87768369*B5$	Lineal	$R^2 = 0.023$	$R^2 = 0.91$	M	(Abdullah & Suhail, 2019)
50	Orinoco River, Venezuela				$SSC = 1.35512*(B5*1000) - 2.9385$	Lineal simple				(Yépez, 2018)
51	Saint John River	L8	Promedio de 12 muestreos por temporada	130 ha	$SST = 503.713*B1 - 103.452B4 - 35.420$	Lineal Múltiple	$R^2 = 0.785$	RMSE= 1.583		(Essam, 2019)
52	Lower Min River (China)	L8	6 estaciones con	564 ha	$SST \text{ (mg/l)} = 3793.7[(0.8831*B3 + 0.0178)+ (1.91*B4^2 + 0.3224*B4 + 0.0536)]^2 - 16.5$	Polinomial múltiple	$R^2 = 0.9535$	RMSE=8.63 MAE=6.48		(Xu., Xu, Hu, & Wang, 2021)
54	Lake Waikare	L8	14	Más de 1000 ha=10 km ²	$SST = 22983.65 B3*B4$	Polinómico	$R^2 = 0.89$	RMSE=64.4	M	(Waikato Regional Technical Report, 2017)
55	Olushandja Dam	L8	6	25005300 ha=250,053 km ²	$SST = 27.08987 + 10.80036(B2) - 507.708(B3) + 95.37331(B4) + 27.8424(B5)$	Lineal múltiple	$R^2 = 0.988$		M	(Kapalanga, Hoko, Gumindoga, & Chikwiramakomo, 2021)
56	Kendari bay Senegal, Southeast Sulawesi, Indonesia.	S2B and L8	25	27176 ha =271.76 km ²	$Land_SST = 257.57e^{21.56(B4)}$ $MSI_SST = 186.71e^{16.593(B4)}$	Exponencial Exponencial				
57	57 Piracicaba and Tietê rivers i	L8			$\hat{SST} = -20.1 + 2.4 * \exp(63.2 * B4)$	Exponencial				Carrillo, 2016
65 o 75	Agri Valley (Basilicata Region, Southern Italy)	L8, MSI	75 en 8 temporadas	527 ha	$SST = 0.4774 \times \exp[425.17 \times Rrs(665)B4] S2$ $SST = 0.7198 \times \exp[329.73 \times Rrs(704)B4] S2$	Exponencial	$R^2 = 0.81$ $R^2 = 0.984$	APD=27.72 ADP=26 RMSE= 0.89 RMSE= 0.95		(Ciancia, y otros, 2020)

Tabla 4.1. Modelos de regresión representativos integrados para el modelo continental (continuación)

ID	Nombre	Sensor	Tamaño de muestra (n)	Superficie	Modelo	Tipo de regresión	Evaluación	Otros estadísticos	Muestra	Referencia
74	Shengjin Lake	S2 MSI, OLI	62	13300 ha=133 km ² 77500 ha=775 km ²	$y = 613.417(B5/B3)^{1.709}$ OLI	Lineal Lineal	$R^2 = 0.840$, $R^2 = 0.835$,	RMSE = 30.62 mg/L RMSE = 30.584 mg/L		(Wang, Wang, Cui, & Yan, 2021)
76	(a) Shengjin Lake, (b) Chaohu Lake	S2 MSI, OLI	62	13300 ha=133 km ² 77500 ha=775 km ²	$y = 613.417(B5/B3)^{1.709}$ OLI	Lineal Lineal	$R^2 = 0.840$, $R^2 = 0.835$,	RMSE = 30.62 mg/L RMSE = 30.584 mg/L		(Wang, Wang, Cui, & Yan, 2021)
77	Poyang Lake	GF-1 Satellite Data adaptado L8	102	300000 ha =3,000 km ²	$Y=9972.1 B4^2+69.6B4+3.358 B3GF=B4L8$	Polinómica	$R^2=0.9003$		N=25	(Xu, Gao, & Wang , 2020)
78	Rhine River	Landsat satellite images TM, MSS	60	1320 km largo 16500 ha= 165.000 km ²	$SST=SSC = 30.03*(B4/B3)^{3.3187}$	Lineal	$R^2=0.30$	RMSE (mg/L)= 11.08-12.23 Standard error is 0.28 mg/L		(Sutari, Perk, & Middelkoop, 2020)
80	Gajah Mungkur Reservoir	L8	54 (25 validación)		$SST (mg/L) = 0,6211(7,9038 \times \exp(23,942 \times B4)) \times 0.9645$	Exponencial	$R^2= 0.92$			(Yanti, Susilo, & Wicaksono, 2016)
81	lower Hugli estuary, West Bengal, India	L8 y Sentinel 2A	40 48	255 ha	$SST=2652.5*(Band\ 8\ (NIR))$ $SST=11.80-50.608 \times B2\ 14.58 \times B5-4.764 \times (B5/B3)$	Lineal	$R^2=0.7075$			(Kanga, Meraj, Das, Farooq, & Chaudhuri, 2020)
82	Lake Dongting		5 campañas con máximo de N = 116 por campaña		$SPM-N2 = 32.61 \exp (0.48x)$	Exponencial				(Xue, y otros, 2020)
85	Himalayan Lake (Kashmir)	L8	10 muestras	-----	$SST(mg/L)= 5.1095NDVI + 0.4233$ $5.1095*((B3-B4)/(B3+B4)) + 0.4233$	Linear model	$R^2=0.663$			(Mushtaq & Nee-Lala, 2016)
86	Amazon Floodplain Lakes	L8 y S2A	94	350000 ha=3500 km ²	$Landsat\ 8\ Ln(SST) (mg/L)= 9.656 + 1.672 \times \ln (B3)$ $Sentinel\ 2A\ Ln(SST (mg/L)= 8.318 + 1.336 \times \ln (B5)$ $B5=B5/B4$		Sent: $R^2=0.87$ Sent: $R^2=0.87$	RMSE_sent=9.43 RMSE_land= 11.35		(Maciel, y otros, 2019)
87	Guadalquivir River	S2A	23 temporadas de muestreo	33 ha	$SST (mg/L)= \frac{9001 \times pw865}{1 - pw865/0.2115} + 44$ $SST (mg/L)= \frac{9001 \times B4}{1 - B5/0.2115} + 44$	Recalibrate semi-analytical	$r=0.974$	NRMSE=10.28	BIAS=0.57	(Caballero, Steinmetz, & Navarro, 2018)
88	Wadasintang Reservoir Using	L8	58	-----	$SST (mg/L)= (255.78*(B4/B3) - 166.89)$	Lineal		SE=10.8 mg/l		(Fauzi & Wicaksono, 2019)
89	Kampar River estuary	L8	18 estaciones de muestreo	88 ha	$SST (mg./L) = 8.1429 * e^{(23.704 * B4)}$	Lineal			F=0.43	(Wisha, Dhiauddin, & Kusumah, 2017)
90	Hulun Lake, China	L8 (por las características del modelo)	34	231500 ha=2315 km ²	$TSM (Landsat\ OLI)=1060.38*B5- 21.08$	Lineal	$R^2=0.88$	RMSE=4.43 BIAS=3.19 (mg/L)		(Wang, y otros, 2020)
91	Xin'anjiang Reservoir (China)	L8	60	-----	$TSM = 38.08 \times [0.42 \times (B2) + (1/B3 - B3) + (1/B4) \times B4 + 0.24] - 3.39$ $38.08*((0.42*(1/((B2)+B3)))-(B3 +(1/B4*B4)) + 0.24) - 3.39$	No lineal	$R^2=0.74$			(Zhang, y otros, 2016)
92	Dongting Lake, China	L8 (por las características del modelo)	20 temporadas con 62 muestreos cada una	399 ha	$TSM\ Land (mg/L)= 6110.3*B5-1.8242$ NIR=L8		$R^2 = 0.81$;	RMSE (5.79 mg/L) MAPE (18.6%)		(Zheng, y otros, 2015)

Simbología: coeficiente de determinación (R^2), coeficiente de determinación ajustado ($\bar{R}^2$), coeficiente de correlación (r^2). Fuente: elaboración propia con base en la literatura encontrada, muestras (m), identificador (ID), MultiSpectra Imageri (MSI), suspended particulars matters (SPM), Error estándar estimado (SE), sensor Landsat 8 OLI (L8), sensor Sentinel 2 (S2).

La disponibilidad temporal de los datos por cada cuerpo de agua dependerá de la información disponible de los sensores remotos, modelos de regresión, muestreos de SST, cobertura nubosa. La figura 4.4 muestra como ejemplo la disponibilidad de imágenes de satélite para tres cuerpos de agua. Dicho ejemplo está basado en información disponible de Earth Explorer y Copernicus (USGS, 2013).

ID	Nombre ID	Imágenes	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
2	2 Hirfanli Water Reservoir	Landsat									
		Sentinel									
3	3 Río Brahmani, Orissa	Landsat									
		Sentinel									
4	4 Embalse de Pradp, Tolima, Colombia	Landsat									
		Sentinel									
9	9 Red River basin in Northern Vietnam	Landsat									
		Sentinel									

Escala



Figura 4.4. Modelo de tabla a utilizar para el almacenamiento de la información por cuerpo de agua.

4.2 Pretratamiento de imágenes satelitales y estimación de SST (etapa 2)

Dado que las condiciones atmosféricas pueden afectar el comportamiento de la reflectancia, es necesario un pretratamiento de los datos. Los elementos por considerar en las condiciones de la atmósfera dependerán del tipo de corrección atmosférica que se esté utilizando en cada estudio. Con base en lo anterior, se obtienen las reflectancias que pueden utilizarse para diversos estudios. Para el presente proyecto las reflectancias su utilidad está enfocada a la estimación de SST. Para lograr lo anterior el pretratamiento de las imágenes satelitales debe consistir en: a) la calibración radiométrica, b) corrección atmosférica y c) detección de bandas con similitud de longitud de onda entre distintos sensores (Landsat y Sentinel 2A). Para la calibración radiométrica y corrección atmosférica se consideran las funciones de los modelos locales de cada cuerpo de agua que son estudiados por diversos algoritmos como DOS, FLAASH, QUAC, AtCor, etcétera. En esta investigación se utiliza DOS Y FLAASH, que corresponden a los utilizados por los autores. En relación con el modelo DOS (*Dark Object Sustractor*; anexo III) se enfoca en el día en que se captura la escena (metadatos) y las características de la latitud y longitud. El segundo modelo utilizado es el modelo FLAASH (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes*), que además de las características anteriores, añade los modelos de atmósfera, de aerosol, y visibilidad de la imagen (anexo I-III; Rodríguez, 2014; Samaniego, 2014).

La corrección atmosférica tiene como finalidad eliminar la influencia de la reflectancia total de la atmosférica oceánica (TOA, *Top of the Atmosphere*), humedad relativa del ambiente, el vapor de agua, aerosoles, etcétera (Felde et al., 2003; Space Imaging Eurasia, 2007; Samaniego, 2014). Por

último, para encontrar la posibilidad de utilizar distintos sensores en los modelos de regresión de SST se puede tratar la información de salida utilizando técnicas de *remote sensing* para la homologación de imágenes satelitales. Una de las técnicas de homologación de datos corresponde a la técnica de sinergismo entre imágenes ópticas con la finalidad de aportar a lo ya planeado conocimiento de frontera y lograr un efecto estético entre las imágenes de los distintos sensores, que de forma individual no pueden producir (ecuación 2). Dicho efecto visual (ajuste de color) se basa en la disponibilidad de imágenes de diferentes sensores, frecuencias, resoluciones y temporalidades generadas por diversos satélites para la observación de la tierra (INGEOMINAS, 2005; Riaño et al., 2000).

La gestión conjunta de imágenes considera la resolución espacial, radiométrica y espectral de las bandas multiespectrales del sensor Landsat y Sentinel (tabla 4.2).

Lo anterior, con la finalidad de identificar las bandas que pueden tener correlación entre los distintos sensores para brindar la posibilidad de estudiar los SST con diferente sensor (ecuación 10).

$$\widehat{SST} = f_1\{B_{1i}, B_{2i}, \dots B_{7i}\} = f_2\{B_{1j}, B_{1j}, \dots B_{7j}\} \quad (10)$$

Donde: $\widehat{SST}$: Concentración de Sólidos Suspendidos Totales, B_n : banda multiespectral n , i : sensor Landsat 8, j : sensor Sentinel.

Tabla 4.2. Resolución espectrales y espacial Landsat-8 OLI y Sentinel-2A y B.

Landsat 8 OLI-TIRS [μm] (m)	Sentinel 2A [μm] (m)	Sentinel 2B [μm]
B1: 0.43-0.45 (30)	B1: 0.430-0.457 (60)	B1: 0.419-0.464
B2: 0.45-0.51 (30)	B2: 0.447-0.545 (20)	B2: 0.443-0.541
B3: 0.53-0.59 (30)	B3: 0.537- 0.582 (20)	B3: 0.536-0.582
B4: 0.64-0.67 (30)	B4: 0.645-0.683 (20)	B4: 0.645-0.684
B5: 0.85-0.88 (30)	B5: 0.694-0.713 (20)	B5: 0.693-0.713
B6: 1.57-1.65 (30)	B6: 0.731-0.749 (20)	B6: 0.730-0.748
B7: 2.11-2.29 (30)	B7: 0.768-0.796 (20)	B7: 0.765-0.793
B8: 0.50-0.68 (15)	B8: 0.762-0.907 (10)	B8: 0.766-0.899
B9: 1.36-1.38 (100)	B8a: 0.848-0.881 (20)	B8a: 0.848-0.880
B10: 10.60-12.51 (100)	B9: 0.932-0.958 (60)	B9: 0.929-0.956
B11: 10.60-12.51 (100)	B10: 1.336-1.411 (60)	B10: 1.338-1.1451
	B11: 1.542-1.685 (20)	B11: 1.539-1.680
	B12: 2.081-2.323 (20)	B12: 2.066-2.304

Simbología: micrómetro (μm), resolución espacial (m), banda multiespectral n (Bn). Nota: en el portar Google Earth Engine se puede observar y obtener bandas espectrales de Landsat y Sentinel 2A a través de diversos códigos preelaborados (anexo IV).

4.3. Caracterización de reflectancia y SST (etapa 3)

En la caracterización de reflectancia y SST (etapa 3) se analizan los distintos datos con base en su correlación, variación de medias, coeficiente de variación distribución de datos. Por un lado, el análisis de la correlación ($r = \frac{\beta_0 \sum y + \beta_1 \sum_{i=1}^n x_1 y + \dots + \beta_2 \sum_{i=1}^n x_2 y - n \bar{y}^2}{\sum_{i=1}^n y^2 - n \bar{y}^2}$) permite identificar las bandas que pueden discriminar de forma adecuada a los SST. Además, la variación de medias permite identificar a nivel de cuerpos de agua la dispersión en función de la media, así como la posible presencia de *outliers*. Los coeficientes de variación que tan sensibles son las bandas para su inclusión en un modelo regional. Para los CA estudiados por Sentinel se extrajeron datos representativos de base 10 metros, pero zonificado a 60 metros por sus consideraciones en resolución y el tamaño final de píxel tiene su referencia de resolución de Landsat.

4.3.1 Análisis jerárquico de clústers

Los modelos regionales se deben agrupar bajo criterios de similitud. La importancia de clasificar los cuerpos de agua en grupos homogéneos corresponde a la ayuda al modelo continental a trabajar en sitios donde se esperan valores de reflectancia influenciadas por criterios homogéneos. Por lo tanto, los criterios utilizados para encontrar similitud en distintas regiones corresponden a las bandas multispectrales. *Entre los procesos jerárquicos de clustering de Ward* esta basados en criterios de mínima distancia. El procedimiento trata de seleccionar el criterio objetivo para unir dos variables que se encuentran analizando. Por ejemplo, en la figura 4.5a se observa el comportamiento de la reflectancia de una longitud de onda en cuerpos de agua y su influencia en la formación de regiones para las concentraciones de SST. La ventaja de la agrupación de modelos bajo la técnica estadística de Ward que tiene como base la varianza mínima de los datos de forma estandarizada permite ver la variabilidad de las bandas y concentración de SST incluidos para cada grupo (figura 4.5b). La fórmula que describe la técnica de Ward está basada en la varianza y número de tratamientos (ecuación 11).

$$D_{KL} = \frac{|\bar{X}_K - \bar{X}_L|^2}{\frac{1}{N_K} + \frac{1}{N_L}} \quad (11)$$

Donde: D_{KL} corresponde a la distancia representativo del clúster, X_K es el promedio en función del centro propuesto de la longitud de onda n, promedio de las distancias propuestas en función de todos los datos. Número de variables que integran el clúster n, número de clúster que no forman parte de la región.

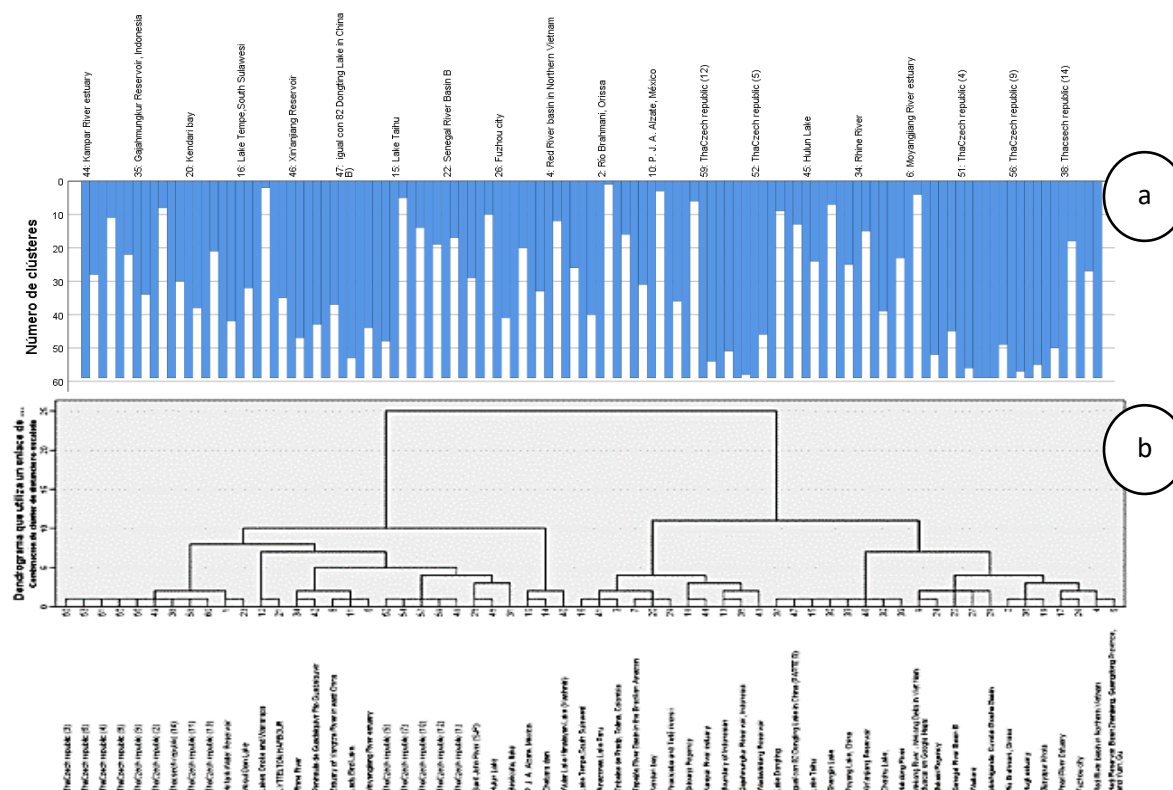


Figura 4.5 a) formas de agrupación de cuerpos de agua con base a la varianza de variables ambientales estudiadas, b) dendrograma de asociación de los cuerpos de agua.

4.3.2 Análisis de correspondencia entre SST y reflectancia

Dado que el objeto del presente trabajo en la valuación de un PCA en diferentes CA, con un mínimo modelado para complementar el periodo de clustering, se propone un análisis de correspondencia de 2 CA al mismo clúster según los reflejados en los SST con distintos modelos locales. Es decir, dos cuerpos de agua presentan la mayor probabilidad de correspondencia entre mayor sea el número de veces que coincidan en el clúster. La tabla 4.3 es un ejemplo del procedimiento mencionado donde N_{ij} es el número de clúster al que pertenece el cuerpo de agua CA_i de acuerdo con las estimaciones de los SST con el modelo local M_{ij} . En caso contrario incluso si los CA ingresan al mismo clúster con sus respectivos módulos. Su pertenencia puede ser revisada de acuerdo con los criterios de la Tabla 4.3

Tabla 4.3. criterios de pertenencia

	ML1	ML2	ML3	ML4	ML5
CA1	N_{ij}	N_{ij}	N_{ij}	...	N_{ij}
CA2	N_{ij}	N_{ij}	N_{ij}	...	N_{ij}
CA3	...	...	...	...	...
CA4	N_{ij}	N_{ij}	N_{ij}	...	N_{ij}

Tabla 4.4. Estadísticos considerados en la técnica de clústers para la creación de grupos

Procesos	Fórmula	Descripción
Z scores	$Z = \sqrt{\frac{(X - \mu)^2}{n - 1}} \quad (12)$	Se deben de estandarizar las reflectancias de las bandas multiespectrales y la concentración de SST Donde: X_i , corresponde al valor de la banda multiespectral o SST en el cuerpo de agua n , μ , corresponde a la media de la variable a n en todos los cuerpos de agua, S , corresponde a la desviación estándar de la variable n .
Varianza	$\sigma^2 = \frac{(X - \bar{X})^2}{n - 1} \quad (13)$	Dónde= X , es la variable estudiada, $\bar{X}$ = es el promedio de la variable, n = tamaño de la muestra, σ^2 = es la varianza de los datos
Inercia intercalase	$W(P)^2 = \sum_{k=1}^k \frac{ C_k }{n} \ g_k\ ^2 \quad (14)$	Óptimo local, para identificar el criterio de convergencia en donde los CA ya no cambian en la asociación de los CA. Donde: n = cantidad de cuerpos de agua, k = es el número de clústers, $=$ es el k -ésimo clústers, X_i = es el vector del i -ésimo del individuo, g_k = centro de gravedad del k -ésimo clústers, g = centro de gravedad total Nota: está basado en una transformación cuadrática
Inercias intraclases	$W(P)^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^k \sum_{i \in c_k} \ X_i - g_k\ ^2 \quad (15)$	Óptimo global Ruido en los datos Donde: n = cantidad de cuerpos de agua, k =es el número de clústers, c_k =es el k -ésimo clústers, X_i = es el vector del i -ésimo del individuo, g_k = centro de gravedad del k -ésimo clústers

4.3.3 Análisis de correspondencia

De manera complementaria se debe de realizar la evacuación de los cuerpos de agua que integran cada región, en función del modelo creado. Lo anterior, debido a que pueden existir algunos cuerpos de agua que, a pesar de incluirse en alguna región homogénea, sus variables regresoras pueden afectar a la capacidad explicativa del modelo por lo tanto debe de evaluarse nuevamente en función de correspondencias adecuadas en función de otras regiones homogéneas (ecuación 16).

$$Cp = \sqrt{\frac{(X_{min} - \overline{Xmin})^2 + (X_{máx_n} - \overline{Xmáx})^2 + \dots + (X_{prom_n} - \overline{Xprom})^2}{n}} \quad (16)$$

Donde: X_{min} :es el valor mínimo de la variable estudiada n , $X_{máx_n}$: es el valor promedio de la variable estudiada n , X_{prom_n} es el valor máximo de la variable n estudiada n , $\overline{Xmin}$ promedio de la variable evaluada, n , total de datos.

Para el modelamiento con regresiones que dificultan la creación del modelo homogéneo, es decir disminuye la capacidad explicativa del modelo pueden ser reasignados en función del análisis de correspondencia por pares. A partir de lo anterior, las regresiones con dificultad de asociación, puede analizarse la posibilidad de pertenencia a otra región homogénea (tabla 4.3).

Tabla 4.5. Relación de correspondencia entre cuerpos de agua y modelos similares

	M1	M2	Mn
CA1	...	...	...
CA2	...	...	...
CAn	...	...	...

	M1	M2	Mn
CA1	n		
CA2		N	
CAn			n

Simbología: cuerpos de agua (CA), modelo para estimar SST (Mn), número de cuerpos de agua estudiados n.

Como medida complementaria se puede analizar la dinámica del agua para observar el comportamiento de los SST debido a la variación de la profundidad (figura 4.3.1). En sitios con aguas lóaticas la mayor energía puede ser reflejada es la Red (640 nm) refleja mayor energía seguido del NIR (850 nm). Para el caso de las aguas lénticas, las firmas espectrales suelen tener menor reflectividad en el NIR (820 nm). Sin embargo, es necesario ser validados ya que los coeficientes de las variables regresoras en ocasiones poden calibrar estas circunstancias (Rojo, 2013).

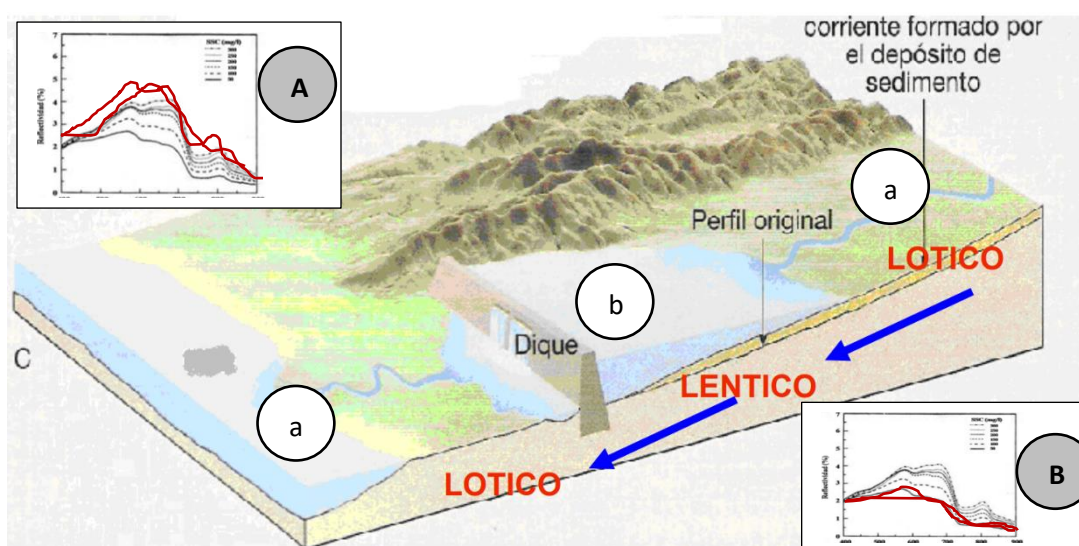
**Figura 4.6.** Tipo de aguas presentes en el ambiente en función de la hidrodinámica del sitio Chang et al., (2017).

Tabla 4.6. Estadísticos de evaluación de las propuestas de clústers

Longitud de onda	Significancia y ANOVA	La significancia bajo la prueba t de Student para muestras independientes: evalúa a partir de $H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad (17)$ $H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \quad (18)$ Estadístico de prueba $t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_c^2}{n_1} + \frac{S_c^2}{n_2}}} \quad (19)$ Donde t=Estadístico t calculado, $\bar{X}_1, \bar{X}_2$, medias muestrales, S_c^2; varianza común obtenida de la expresión $S_c^2 = \frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2}$, que sigue una distribución t con $n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad. Se rechaza la hipótesis nula (H_0) si $t > t_{(1-\frac{\alpha}{2}), (n_1+n_2-2)}$ que corresponde al valor crítico. Nota. En el presente estudio se asumió normalidad en de datos para el estudio de las pruebas paramétricas (ecuación 19). Un análisis de varianza (ANOVA) prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. Los ANOVA evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores. La hipótesis nula establece que todas las medias de la población (medias de los niveles de los factores) son iguales mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente
	Multicolinealidad y valores atípicos	En situaciones de colinealidad cercana, la ecuación de regresión estimada será sesgada y proporcionará resultados inexactos. También puede usarse la regla de oro consiste en que si una correlación con un valor absoluto mayor a $r_{abs} \geq 0.75$ es indicativa de múltiples multicolinealidades (ecuación 20). En caso de que resulte difícil diferenciar la multicolinealidad entre las variables, se puede utilizar la prueba del Factor de inflación de la varianza (FIV; ecuación 21, 22). $FIV \geq 10$ indica multicolinealidad destructiva. Donde β_n: corresponde a los coeficientes del modelo, x_n: corresponde a la banda multispectral y R_i^2: es el coeficiente de determinación. Prueba de correlación $r = r = \sqrt{\frac{\beta_0 \sum y + \beta_1 \sum_{i=1}^n x_1 y + \dots + \beta_2 \sum_{i=1}^n x_2 y - n \bar{y}^2}{\sum_{i=1}^n y^2 - n \bar{y}^2}} \quad (20)$ Prueba FIV $x_1 = \beta_0 + \beta_1 * x_2 + u \quad (21)$ $FIV = \frac{1}{1 - R_i^2} \quad (22)$ Nota: proceso repetitivo de acuerdo con las variables independientes. Los valores atípicos tienden a incrementar la varianza residual, lo cual disminuye la probabilidad de rechazar la hipótesis nula (H_0). Donde Qk: corresponde a los números atípicos totales, Lk: corresponde al límite real inferior de la clase del cuartil k, $k=1,2,3$, n: corresponde al número de muestras, Fk: corresponde a la frecuencia acumulada de la clase que antecede a la clase del cuartil k. f_k: indica la frecuencia de la clase del cuartil k y c: corresponde a la longitud del intervalo de la clase del cuartil k. Si se desea calcular cada cuartil individualmente, mediante otra fórmula se tiene lo siguiente: el primer cuartil Q_1, es el menor valor que es mayor que una cuarta parte de los datos; es decir, aquel valor de la variable que supera 25% de las observaciones y es superado por el 75% de las observaciones (ecuación 23). $Q_{k=L_K} + \frac{K(\frac{n}{4}) - F_k}{f_k} * c \quad (23)$
	SST	Esta medida corresponde al medio de un estimador mide el promedio de los errores al cuadrado, es decir la diferencia entre el estimador y lo que se estima. Es una función de riesgo, correspondiente al valor esperado de la pérdida del error cuadrado o pérdida cuadrática (ecuación 24). $MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (24)$ Donde: MSE: error cuadrático medio de la región homogénea evaluada, n: número de muestras estratificadas que integra la región homogénea, Y_i= valor de los datos, $\hat{Y}_i$: dato estimado por el modelo.

4.4 Calibración de modelos regionales (etapa 4)

Debido a la complejidad del manejo de una gran cantidad de datos de manera estadística, se puede elegir información relevante de la población (formato ráster) a través de la identificación de una muestra estratificada (ecuación 25).

$$n = \frac{NZ^2\sigma^2}{(N-1)E^2 + Z^2\sigma^2} \quad (25)$$

Donde: tamaño de muestra significativa por cuerpo de agua (n), población total de píxeles de los cuerpos de agua considerados en el estudio (N), intervalo de confianza (Z), desviación estándar (S), error (E).

Para el manejo de los datos¹² (a nivel de filas) el número máximo que permite manipular la mayoría de los softwares (Excel, IBM SPSS Statistics, R, TerrSet) corresponde a 320,000 por lo tanto, se maneja este tamaño en los muestreos estratificados para la construcción de los modelos regionales. Para evaluar el alcance de cada modelo regional se trabajará en diversos estadísticos (tabla 4.5).

Tabla 4.7 Estadísticos de evaluación de modelos regionales.

Estadística	Fórmula	Descripción
Estadístico F vs F crítico	$\text{Estadístico } F = \frac{\left(\frac{R_{ss} - R_{ss_1}}{m}\right)}{\frac{1 - R_{ss}}{n - k}} \quad (26)$	El estadístico F se basa en la hipótesis de que las medias de múltiples poblaciones normalmente distribuidas y con la misma desviación estándar son iguales (Mun, 2012) o que las desviaciones estándar de dos poblaciones normalmente distribuidas son iguales (ecuación 28). El estadístico F puede calcularse como: estadístico F < F crítico $\Rightarrow$ se acepta H_0 (hipótesis nula), Estadístico F > F crítico $\Rightarrow$ se rechaza H_0 (hipótesis nula) Donde R_{ss}: se refiere al coeficiente de determinación del modelo asociado con la región homogénea n sin restringir (R^2), R_{ss_1}: se refiere al coeficiente de determinación del modelo restringido (R^2), m: se refiere al número de restricciones impuestas a los coeficientes estimados (coeficientes restringidos), k: se refiere al número de coeficientes estimados en el modelo sin restricciones y n: se refiere al número de muestras del modelo (Mun, 2012).
P-value	$p - \text{value} = \Pr \{ t_{n-1} > t_c \} \quad (27)$	La importancia del p-value viene dada porque proporciona un resultado más informativo que el que provee el propio resultado del contraste, ya que éste determina únicamente si se acepta o

¹² A nivel de bibliografía se puede encontrar que las versiones de Excel del 2010 a la fecha pueden soportar hasta 1, 048,576 filas de datos. Sin embargo, en la realidad mucha de las ocasiones el software colapsa desde las 320,000 filas de datos (EXCELTOTAL, 2021).

		no la hipótesis nula¹³, ya sea con una gran holgura, o sin ella (ecuación 27). Es decir, si $p - value < \alpha \Rightarrow se rechaza H_0$ y <i>viceversa</i>, Sin embargo, el p-value cuantifica el riesgo a equivocarse que se tiene que asumir para rechazar H_0 (hipótesis nula; ecuación 27). Donde: p-value: corresponde a la probabilidad correspondiente al estadístico de ser posible bajo la hipótesis nula. Si cumple con la condición de ser menor al nivel de significancia impuesto arbitrariamente, entonces la hipótesis nula será, eventualmente, rechazada (valor del estadístico calculado).																																																
Validación cruzada	$SST_i = f(PC1, PC2, PCn) \quad (28)$	El modelo continental de las regiones puede ser validado por medio de técnicas paramétricas y no paramétricas. Dentro de las paramétricas se propone utilizar la validación cruzada (cross validation, tabla 4.11; Mun, 2012) de los SST estimados considerando bandas representativas de la región (ecuación 28). Este proceso iterativo estará evaluado en función del coeficiente de Nash-Sutcliffe (E), coeficiente de determinación ajustado (R^2), raíz del error cuadrático medio (RMSE), BIAS, Criterio de Información Schwarz (BIC), Criterio de Información Akaike (AIC). y media del error absoluto del porcentaje (MAPE; Andrade, 2013; Plazas, 2009; Walpole & Myers, 1989). Donde: Propiedad de los componentes asociados a SST (M_i), función de las componentes (f), coeficiente n de la componente n (PCn; <i>ecuación 28</i>). <table><caption>Tabla 4.11. Estadísticos de prueba para la comprensión de los datos</caption><thead><tr><th></th><th colspan="3">Coeficientes por iteración</th><th colspan="4">Promedio de coeficiente por iteración</th></tr><tr><th>i</th><th>λ_1</th><th>λ_2</th><th>λ_3</th><th>$\bar{\lambda}_1$</th><th>$\bar{\lambda}_2$</th><th>$\bar{\lambda}_3$</th><th>$\bar{\lambda}_n$</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>λ_{11}</td><td>λ_{21}</td><td>λ_{31}</td><td>$\bar{\lambda}_{11}$</td><td>$\bar{\lambda}_{21}$</td><td>$\bar{\lambda}_{31}$</td><td>...</td></tr><tr><td>2</td><td>λ_{12}</td><td>λ_{22}</td><td>λ_{32}</td><td>$\bar{\lambda}_{12}$</td><td>$\bar{\lambda}_{22}$</td><td>$\bar{\lambda}_{32}$</td><td>...</td></tr><tr><td>3</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td></tr><tr><td>4</td><td>λ_{nn}</td><td>λ_{nn}</td><td>λ_{nn}</td><td>$\bar{\lambda}_{nn}$</td><td>$\bar{\lambda}_{nn}$</td><td>$\bar{\lambda}_{nn}$</td><td>...</td></tr></tbody></table> Simbología: iteración (i), resultado de la iteración n (λ_{nn}), resultado del promedio de la iteración n ($\bar{\lambda}_n$)		Coeficientes por iteración			Promedio de coeficiente por iteración				i	λ_1	λ_2	λ_3	$\bar{\lambda}_1$	$\bar{\lambda}_2$	$\bar{\lambda}_3$	$\bar{\lambda}_n$	1	λ_{11}	λ_{21}	λ_{31}	$\bar{\lambda}_{11}$	$\bar{\lambda}_{21}$	$\bar{\lambda}_{31}$	...	2	λ_{12}	λ_{22}	λ_{32}	$\bar{\lambda}_{12}$	$\bar{\lambda}_{22}$	$\bar{\lambda}_{32}$	...	3	...	...	...	...	...	...	...	4	λ_{nn}	λ_{nn}	λ_{nn}	$\bar{\lambda}_{nn}$	$\bar{\lambda}_{nn}$	$\bar{\lambda}_{nn}$	...
	Coeficientes por iteración			Promedio de coeficiente por iteración																																														
i	λ_1	λ_2	λ_3	$\bar{\lambda}_1$	$\bar{\lambda}_2$	$\bar{\lambda}_3$	$\bar{\lambda}_n$																																											
1	λ_{11}	λ_{21}	λ_{31}	$\bar{\lambda}_{11}$	$\bar{\lambda}_{21}$	$\bar{\lambda}_{31}$	...																																											
2	λ_{12}	λ_{22}	λ_{32}	$\bar{\lambda}_{12}$	$\bar{\lambda}_{22}$	$\bar{\lambda}_{32}$	...																																											
3	...	...	...	...	...	...	...																																											
4	λ_{nn}	λ_{nn}	λ_{nn}	$\bar{\lambda}_{nn}$	$\bar{\lambda}_{nn}$	$\bar{\lambda}_{nn}$	...																																											

Para la selección de la longitud de onda representativa en las concentraciones de SST en modelos regionales es importante analizar las características generales, así como las individuales de cada modelo (tabla 4.8). Dentro de las características generales se debe analizar la correlación entre las bandas espectrales y los SST, mientras tanto de manera individual la selección de variables regresoras será de acuerdo con cada región, ya que, cada

¹³ Cuando: el p-value es menor a 0.01 indica que la variable es estadísticamente significativa para un intervalo de confianza del 99 %. Mientras, para un p-value menor a 0.05 indica que la variable es estadísticamente significativa para un intervalo de confianza del 95 % y, si p-value es menor a 0.1 indica que la variable es estadísticamente significativa para un intervalo de confianza del 90 %.

una de ellas juega un papel importante en las particularidades de cada sitio. Lo anterior se fundamenta en las correlaciones aceptables de estas bandas, así como el papel que tienen en la determinación de los SST. Para realizarlo se utiliza el software IBM SPSS Statistical tanto para los modelos lineales y no lineales. De manera general se utilizarán variables lineales, transformaciones cuadráticas y logarítmicas debido a que la bibliografía de calidad del agua a través de sensores remotos es diversa (Cheng et al., 2018; Swain & Sahoo, 2017; Pahlevan et al., 2019)

Tabla 4.8. Regresiones consideradas en la presente investigación.

Tipos utilizados	Pruebas por considerar		Fuente
Regresión lineal múltiple	- Linealidad - Prueba Durwin Watson - Factor de inflación de la varianza - Correlación	- Normalidad - Multicolinealidad - Valores atípicos - Sentido físico	(Walpole & Myers, 1989)
Regresión lineal transformado múltiple	- Coeficiente de determinación - Rangos jerárquicos de coeficiente de determinación	Límite del cuerpo de agua	(Zeiny & Kafrawy, 2016)
Regresión polinómica múltiple	Análisis de varianza (ANOVA)		(Walpole & Myers, 1989), (Graver & Boren, 1967)
Otras regresiones			

4.5 Caracterización de modelos regionales por variables ambientales

Para distinguir los modelos regionales es necesario identificar las condiciones ambientales e hidrológicas para cada uno de ellos. Para ello se debe de establecer los intervalos adecuados de las variables representativas de cada lugar. Las VA mencionadas en la tabla 4.9 muestran su incidencia en el parámetro de calidad del agua estudiado.

Tabla 4.9. Variables ambientales que intervienen en el comportamiento de los SST. Elaboración propia.

Var. Ambientales	Fuente	Unidad	Diferencia entre grupos en relación con SST
Temperatura mínima	WorldClim (1 km)	°C	En cuerpo de aguas con alto contenido de SST, en cuerpo de aguas con bajo contenido de SST, en cuerpos de aguas lólicas y en cuerpos de aguas lénticas
Temperatura promedio	WorldClim (1 km)	°C	En cuerpos de agua con temperatura de brillo alto, en cuerpos de agua con temperatura de brillo bajo, hora de la escena e influencia de la radiación .
Temperatura máxima	WorldClim (1 km)	°C	Comportamiento de la temperatura ante el viento
Temperatura del cuerpo de agua	MODIS (1 km)	°C	Comportamiento de la temperatura con vegetación cercana al sitio
Dirección del viento	WorldClim y FAO (1 km)	m s-1 (mmKJ m-2 day-1)	Comportamiento de la temperatura en relación con la profundidad del cuerpo de agua
Radiación solar	WorldClim (1 km)	m s-1 (mmKJ m-2 day-1)	Comportamiento de dinámica lólica y lentic
Vapor de agua	WorldClim (1 km)	(kpa)	Arrastre de humedad al cuerpo de agua , presencia o ausencia de vegetación en el lugar
Altitud	WorldClim (1 km)	m	Ajuste en la corrección atmosférica para el modelamiento
Precipitación	WorldClim (1 km)	mm	Comportamiento del espectro electromagnético en presencia de vapor de agua
B5	Earth Explorer	$\left(\frac{w}{m^2 \cdot sr \cdot \mu m}\right)$	Comportamiento de las reflectancias en escenas bajo diferentes condiciones climáticas.
			Relación de la altura con la temperatura
			Relación de la altura con la presencia de rocío y nubes
			Detección de temporadas de lluvias, disponibilidad de imágenes tratables
			Longitud de onda de 0.85-0.88 [μm] que discriminan mejor los SST
			ZhonPing et al., (2015); Mohamed et al., (2019); Briceño et al., (2018); Phoung et al ., (2017) & Karaoui et al., (2019); Clevers & Gitelson (2013);

Nota. Los datos descargados de los distintos portales presentan un formato de GeoTiff (.tif) con una resolución de 30 segundos (1 km²). Para los cálculos de las diversas variables ambientales se utilizarán los valores promedio de cada variable ambiental a nivel mensual.

4.5.1 Temperatura ambiental mínima, promedio y máxima (Tmín, Tmáx, TPROMA)

La temperatura ambiental se descargó del portal WorldClim (WorldClim, 2021) se realizó un reescalado de los datos ya que presentan una resolución de 10 km de píxel, obteniendo finalmente datos de Tmín, Tmáx, TPROMA a una resolución de 0.0083° de resolución (1 km), con Datum y sistema de referencia geográfico.

4.5.2 Temperatura de superficie del cuerpo de agua -MOD11A2 (TASA)

Para la obtención de esta VA se descargó del conjunto de MOD11A2 (Mehta & Flores, 2018; MODIS-NASA, 2021; anexo IV), con resolución espacial de 1 km. Para cubrir los cuerpos de agua propuestos se descargaron 1200 imágenes en formato HDF, comprendido entre la latitud 0 y 70° (tabla 4.10).

A partir de la descarga de datos se transformaron las unidades de Kelvin a grados Celsius (°C) y se obtuvo una imagen promedio mensual del periodo de análisis (2019-2021; ecuación 29).

Temp sup. (°C)

$$= \frac{[(Temp (ND)_{2019} * 0.02) - 273.15] + \dots + [(Temp (ND)_n * 0.02) - 273.15]}{n} \quad (29)$$

Donde: temp (ND): temperatura en número digital del año n, 0.02; escalar establecido por MODIS, temp sup; corresponde a la temperatura de superficie¹⁴.

Asimismo, cabe destacar que el diseño de los modelos de regresión fue realizado bajo las condiciones ambientales de días muy cercanos al paso del sensor en el área de estudio.

Tabla 4.10. Datos usados por cuerpo de agua en función de los rásters MOD11A2 (2019B-2021A).

a) 2019-2021

Latinoamérica		África		Oceanía y Nueva Zelanda		Rusia, España, Países Bajos		Estados Unidos	
1	10/06/2021	1	10/06/2021	1	10/06/2021	1	10/06/2021	1	10/06/2021
2	09/05/2021	2	09/05/2021	2	09/05/2021	2	09/05/2021	2	09/05/2021
3	07/04/2021	3	07/04/2021	3	07/04/2021	3	07/04/2021	3	07/04/2021
4	14/03/2021	4	14/03/2021	4	14/03/2021	4	14/03/2021	4	14/03/2021
5	10/02/1900	5	10/02/2021	5	10/02/2021	5	10/02/2021	5	10/02/2021

¹⁴ Nota: La obtención del mosaico corresponde a una escena mundial mensual correspondiente al periodo 2019-2021 (tabla 4.10).

6	09/01/2021	6	09/01/2021	6	09/01/2021	6	09/01/2021	6	09/01/2021
7	10/12/2020	7	10/12/2020	7	10/12/2020	7	10/12/2020	7	10/12/2020
8	08/11/2020	8	08/11/2020	8	08/11/2020	8	08/11/2020	8	08/11/2020
9	07/10/2020	9	07/10/2020	9	07/10/2020	9	07/10/2020	9	07/10/2020
10	13/09/2020	10	13/09/2020	10	13/09/2020	10	13/09/2020	10	13/09/2020
11	12/08/2020	11	12/08/2020	11	12/08/2020	11	12/08/2020	11	12/08/2020
12	11/07/2020	12	11/07/2020	12	11/07/2020	12	11/07/2020	12	11/07/2020

b) 2019-2020

Latinoamérica		África		Oceanía y Nueva Zelanda		Rusia, España, Países Bajos		Estados Unidos	
1	09/06/2020	1	09/06/2020	1	09/06/2020	1	09/06/2020	1	09/06/2020
2	08/05/2020	2	08/05/2020	2	08/05/2020	2	08/05/2020	2	08/05/2020
3	14/04/2020	3	14/04/2020	3	14/04/2020	3	14/04/2020	3	14/04/2020
4	13/03/2020	4	13/03/2020	4	13/03/2020	4	13/03/2020	4	13/03/2020
5	10/02/2020	5	10/02/2020	5	10/02/2020	5	10/02/2020	5	10/02/2020
6	09/01/2020	6	09/01/2020	6	09/01/2020	6	09/01/2020	6	09/01/2020
7	11/12/2019	7	11/12/2019	7	11/12/2019	7	11/12/2019	7	11/12/2019
8	09/11/2019	8	09/11/2019	8	09/11/2019	8	09/11/2019	8	09/11/2019
9	08/10/2019	9	08/10/2019	9	08/10/2019	9	08/10/2019	9	08/10/2019
10	14/09/2019	10	14/09/2019	10	14/09/2019	10	14/09/2019	10	14/09/2019
11	13/08/2019	11	13/08/2019	11	13/08/2019	11	13/08/2019	11	13/08/2019
12	12/07/2019	12	12/07/2019	12	12/07/2019	12	12/07/2019	12	12/07/2019

Nota: Descarga de imágenes MODIS para la estimación de la temperatura superficial del agua.

Una vez extraída la información de HDF a formato ráster nativo de TerrSet, se debe de realizar el mosaico del conjunto de imágenes mes por mes por cada año propuesto en el estudio. Una vez generados los mosaicos se debe de obtener el promedio de los datos y la respectiva transformación a grados Celsius (°), además de ello se debe de hacer un filtrado de las imágenes donde las áreas de algunas imágenes no presentan un valor de la temperatura (Barsi et al., 2005). Una vez seleccionada y recopilada las VA se debe de reescalar la información para que cada una de ellas represente un peso similar por medio de la estandarización de las variables $\left(VAE = \left[\frac{Xi-\mu}{\sigma}\right]\right)$.

4.5.3 Velocidad de los vientos (m s-1)

La información relevante a vientos se descargó del portal WorldClim (WorldClim, 2021) s y se realizó un reescalado de 10 km a 1 km¹⁵. Con base en lo anterior, se llega a una resolución de 0.0083° de resolución (1 km), con Datum y sistema de referencia geográfico.

¹⁵ Los datos de variables climáticas del portal de World Clim (disponible en: <http://www.worldclim.com>) presenta la información con datos a 10 km de resolución espacial por el peso que adquiere los datos bajo estas condiciones. Sin embargo, los datos de origen son elaborados con 1 km de resolución

4.5.4 Radiación solar en superficie (mmKJ m-2)

En relación con la radiación solar existen distintos portales que manejan la información sin embargo no lo manejan de manera global. Para el caso de WorldClim también presenta información global con resolución de 10 km, y dada la dinámica de los datos a trabajar se reclasificaron a 1 km.

4.5.5 Altitud y precipitación (msnm, mm)

De acuerdo con Sundabarabalan et al., (2020) la altitud puede influir en las condiciones climáticas del sitio, por lo tanto, pueden ocasionar zonas donde exista precipitación alta y el comportamiento de los SST sean modificada por estas condiciones. Estas variables fueron descargada a través del portal WorldClim y reclasificada a 1 km.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el desarrollo de los modelos regionales se llevaron a cabo las siguientes etapas: a) uniformizar información, b) integración de imágenes y estimación de reflectancias, c) agrupación de modelos locales según la reflectancia y concentración de SST; d) desarrollo de modelos regionales y; e) caracterización de los CA por variables ambientales para la validación de los modelos.

En relación con la uniformización de información se recolectaron, calibraron y corrigieron atmosféricamente las imágenes Landsat y Sentinel 2A descargadas. A partir de ellas, se extrajo una muestra estratificada de reflectancia con base en el polígono del cuerpo de agua. Estas reflectancias en conjunto con la concentración de SST fueron consideradas en la agrupación de modelos locales por medio de un Análisis de Clústers Jerárquico (*Hierarchical Clusters Analysis-HAC*) y un análisis de correspondencia. Una vez agrupados los cuerpos de agua se desarrollaron modelos para estimar la concentración de SST a partir de regresiones lineales y no lineales. Por último, cada modelo regional fue caracterizado con base en la dispersión de valores asociados con variables ambientales como temperatura, vapor de agua, dirección del viento, precipitación y altitud, entre otras. Esta caracterización puede ser empleada para estimar la concentración de SST en cuerpos de agua, similares ambientalmente, que no cuentan con un modelo local propio.

5.1 Uniformización de información (etapa 1)

La revisión bibliográfica permitió identificar 42 CA viables a estudiarse bajo la presente metodología, es decir, fue posible reproducir la estimación de las concentraciones de SST. La mayoría (93.1%) cuenta con al menos un modelo de regresión y el resto (6.9 %) presenta muestreos de campo georreferenciados, con los cuales, fueron generados modelos de regresión con capacidad explicativa adecuada (tabla 5.1). Es decir, los coeficientes de determinación ajustado presentaron valores al menos de 0.63, la desviación estándar en promedio de $S \leq 3.24$ (mg/L) y en términos proporcionales los RMSE representaron hasta 14.23% del intervalo de concentraciones observadas¹⁶. Las variables utilizadas en estos modelos corresponden a las bandas multispectrales equivalentes entre Landsat 8 OLI y Sentinel 2A definidas en la metodología (tabla 5.1).

Tabla 5.1. Regresiones obtenidas a través de muestreos proporcionados por los autores.

ID_MUN	n	Modelo creado	R ²	RMSE	Referencia
31	31	$SST = 31.70 + 234.25B3 - 117.23B11 + 542.45B4$	R ² =0.66	11.23	Permatasari et al., 2019
51	47	$SST = 503.71B1 - 103.45B4 - 35.42$	R ² = 0.79	9.23	Essam, 2019
78	60	$SST = 30.03(B4/B3)^{3.3187}$	R ² =0.63	24.03	Wang et al., 2021

¹⁶ Los intervalos de concentraciones de SST observados fueron (0-904 mg/L).

Simbología: identificador del cuerpo de agua (ID_MUN), tamaño de muestra (n), coeficiente de determinación ajustado (R^2), raíz del error cuadrático medio (RMSE), banda multiespectral (Bi). Fuente: elaboración propia.

Una vez identificados los 42 cuerpos de agua y sus respectivos modelos se observó una configuración del 35.30% de forma lineal y 64.70% de forma no lineal, estudiados a partir de imágenes satelitales. Dichas imágenes satelitales corresponden a 146 del sensor Landsat 8 OLI y 48 del sensor Sentinel 2A, y para el análisis de su disponibilidad fueron integradas de manera mensual con el fin de conocer las condiciones meteorológicas y técnicas del satélite que permiten su uso.

El conjunto de todos los cuerpos de agua presenta información a lo largo del año, considerando que diciembre, enero y febrero presentaron una mayor densidad de datos (más de 3 imágenes al mes) y julio, agosto y septiembre tienen al menos 1 imagen al mes (figura 5.1). En el año 2016 y 2019 en general se presentaron mayor cantidad de imágenes disponibles de analizarse por la menor cantidad de fenómenos meteorológicos al menos en los cuerpos de aguas considerados en la presente investigación. Mientras tanto en el año 2021, el 23.25% de los CA presentaron una baja disponibilidad de imágenes. En consecuencia, estos sitios pueden apoyarse de las imágenes Sentinel 2A para tener mayor posibilidad de tener estimaciones en los meses con dificultad meteorológica. La aplicabilidad temporal de los modelos locales también fue analizada, por ejemplo, el Río Guadalquivir [ID 87] cuenta con un modelo aplicable durante todo el año, de acuerdo con et al. (2018) pero los cuerpos Porong River, Sidoarjo [ID 30] y Senegal River Basin [ID 35], solo pueden ser aplicados en febrero, junio y octubre de acuerdo con Fang et al. (2010), Bioresita et al. (2018), Faye et al. (2020; figura 5.2).

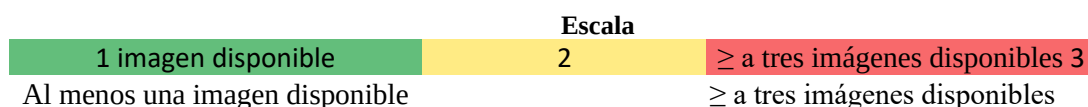
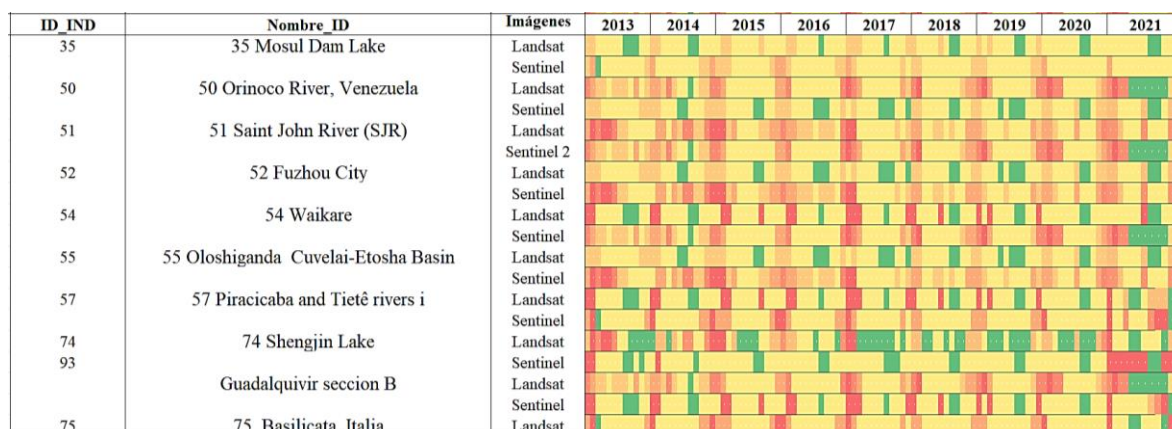


Figura 5.1. Disponibilidad de imágenes satelitales a través del tiempo en los cuerpos de aguas utilizados en el presente proyecto.

La aplicabilidad de los modelos corresponde a 4.6% de CA que pueden ser estudiadas en todo el año debido a los estudios que aportaron los autores, mientras que el 53.4% la aplicabilidad fue evaluada entre 4 a 11 meses y solo el 41.86% la aplicabilidad fue basada por debajo de 4 meses de manera anual. Las ventajas de los modelos cuya aplicabilidad fue diseñada a lo largo del año corresponde a la representatividad en las estimaciones generadas en el presente proyecto y para los cuerpos de agua cuyo diseño fue basado en menor cantidad de meses, las estimaciones deben de ser valoradas en función de la dinámica del sitio para la interpretación de los resultados.

Alcance temporal en la aplicación de la regresión

ID IND	Nombre ID	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
3	3 Río Brahmani, Orissa									
4	4 Embalse de Pradp, Tolima, Colombia									
9	9 Red River basin in Northern Vietnam									
15	15 Tapajós River Basin in the Brazilian Amazon									
18	Mekong River - Mekong Delta in Viet Nam									
19	19 P. J. A. Alzate, México									
21	21 Lakes Onoke and Wairarapa									
25	25 Chebara Dam									
28	28 Lake Tempe, South Sulawesi									
29	29 Pearl River Estuary									
30	30 Sidoarjo Regency									
31	31 Bijayapur Khola									
33	33 Lyttelton Harbour									
34	34 Senegal River Basin B									
76	76 Chaohu Lake.									
77	77 Poyang Lake, China									
78	78 Rhine River									
80	80 Gajahmungkur Reservoir, Indonesia									
81	81 Hugli estuary									
82	82 Lake Dongting									
84	84 Nakdong River									
85	85 Wular Lake Himalayan Lake (Kashmir)									
86	86 Amazonas Lake Paru									
87	87 Peninsula de Guadalquivir Río Guadalquivir									
88	88 Wadaslintang Reservoir									
89	89 Kampar River estuary									
90	90 Hulun Lake									
91	91 Xin'anjiang Reservoir									
92	Dongting Lake in China (PARTE B)									
10	Hedi Reservoir Basin Zhanjiang and Yulin, Guangxi Province									
13	13 Moyangjiang River Estuary									
16	16 Estuary of Yangtze River in East China									
19	19 P. J. A. Alzate, México									
24	24 Boundary of Indonesian									
26	26 Lake Taihu									
32	32 Kendari Bay									
93	93 Guadalquivir sección B									
35	35 Mosul Dam Lake									
50	50 Orinoco River, Venezuela									
51	51 Saint John River (SJR)									
52	52 Fuzhou City									
54	54 Waikare									
55	55 Oloshiganda Cuvelai-Etoshá Basin									
57	57 Piracicaba and Tietê rivers i									
74	74 Shengjin Lake									
75	75 Basilicata, Italia									

Escala

No disponible

Disponible

Sin aplicación de reg.

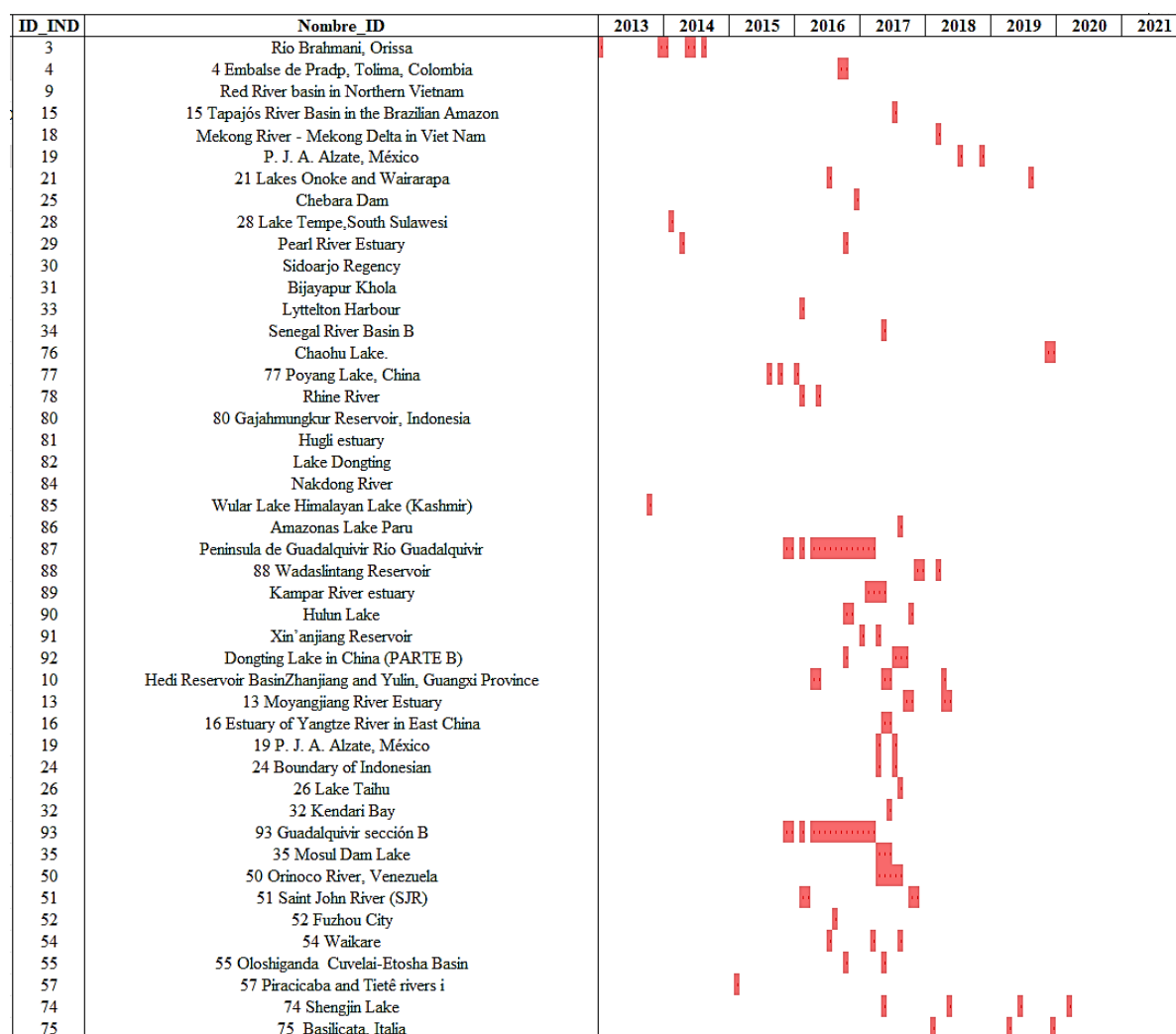
Con aplicación de reg.

Figura 5.2. Temporalidad de aplicación de los modelos de regresión utilizados en el presente proyecto.

Los muestreos realizados por los distintos estudios corresponden a distinta mensualidad, sin embargo, esta característica ayuda al alcance de los modelos regionales, ya que amplía el alcance de ellos. A pesar de que algunos cuerpos de agua presentan pocos muestreos mensuales en los distintos estudios, la aplicabilidad de ellas alcanza la mayoría de los meses debido a las pruebas estadísticas que fueron sometidas (4,18,19,81,). Los cuerpos de agua que sobre salen en muestreos son La Península Guadalquivir y Río Guadalquivir, Río Orinoco Venezuela, Río Kampar y Lago Mosul, Río Brahamari, Río Mayanjiang, entre otros;

estos representan el 20.9% del total de CA. Otro punto importante de los muestreos corresponde al seguimiento año tras año en relación con el mes que los autores tomaron como referencia para sus estudios.

Muestreos realizados por cada cuerpo de agua



Escala

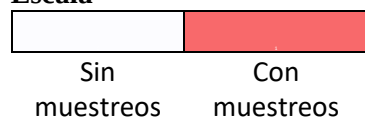


Figura 5.3. Muestreos en campo de los cuerpos de agua utilizados en el presente proyecto.

5.2 Pretratamiento de imágenes satelitales (etapa 2)

Las imágenes que comprenden a los 42 cuerpos de agua provienen en un 90.4% del sensor Landsat 8 OLI (USGS, 2013), y el 6.6% del sensor SENTINEL (COPERNICUS, 2021). Una vez obtenidas y

descargadas las imágenes, se procedió al tratamiento de ellas, la cual consistente en la calibración y corrección atmosférica. Dicho pretratamiento y estimación de reflectancia fueron desarrollados con base en la metodología de cada autor. De manera general, se trabajó con dos técnicas de corrección atmosférica. La primera correspondió al modelo DOS-Dark Object Subtractor (Clark, 1993), que refleja las condiciones de fecha, hora y emisividad de la fecha a través de los metadatos de la escena (90.4% de los cuerpos de agua). La segunda técnica FLAASH-*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes*, además de trabajar con las condiciones de la escena también permitió trabajar con modelos de atmósfera, visibilidad de la imagen, influencia del aerosol de la zona de estudio y el comportamiento de las firmas espectrales de los cuerpos de agua (anexo VIII). En el apartado de sinergismo se identificó la disponibilidad de imágenes Landsat y Sentinel para ver la posibilidad de un análisis integral considerando umbrales de longitud de onda similares. Lo anterior fue aplicado a los CA 3, 33, 54 debido a que los autores generaron modelos con base a los dos sensores, aunado a ello también se aprovecharon muestras estratificadas para cada imagen sin olvidar su temporalidad.

5.3 Caracterización de reflectancia y SST

La caracterización se basó en las concentraciones de SST esperadas en los cuerpos de agua, por lo tanto, paralelamente se detectaron y omitieron píxeles de reflectancias presumiblemente fuera de la cobertura de agua, con base en un análisis de dispersión: varianzas (≥ 0.0021 ; anexo IX) y coeficiente de variación (2.1484). Esta recopilación de información siguió los parámetros establecidos por cada modelo (variables de regresión y estimación de SST) con base en una muestra estratificada de la población de los CA. Lo anterior, aportó como resultado la identificación preliminar de los rangos de reflectancia y de SST que muestran la sensibilidad de las reflectancias en relación con las concentraciones de los SST.

El 45% de las muestras de los CA presentan una media aritmética por debajo de los 250 mg/L (figura 5.4; anexo IX), la cual representa una dispersión elevada de los cuerpos de agua debido a las particularidades físicas del agua y de los modelos locales. Los CA que tienen mayor dispersión corresponden al 10, 18, 88, 32, 50 y 21 en las bandas multiespectrales (13.9%), sin embargo, para el caso del 86.01% de CA, las estimaciones de SST se encuentran con una dispersión similar entre ellas (figura 5.4a-d). El 86.01% de los CA presentan valores cercanos a la media aritmética de la reflectancia de todos los cuerpos de agua, la cual permite sentar bases para la creación de grupos homogéneos. La mayoría de los CA guardan la esencia del comportamiento de la media aritmética, solo algunos percentiles están fuera de los valores promedios de concentración de SST sugeridos por otros investigadores (CA=24, 28, 31, 54) presentan diferencia significativa entre la media y el valor

mínimo) y en función con las bandas multispectrales la banda 4 es el que presenta mayor dispersión ($S=0.022$; figura 6.5; anexo IX).

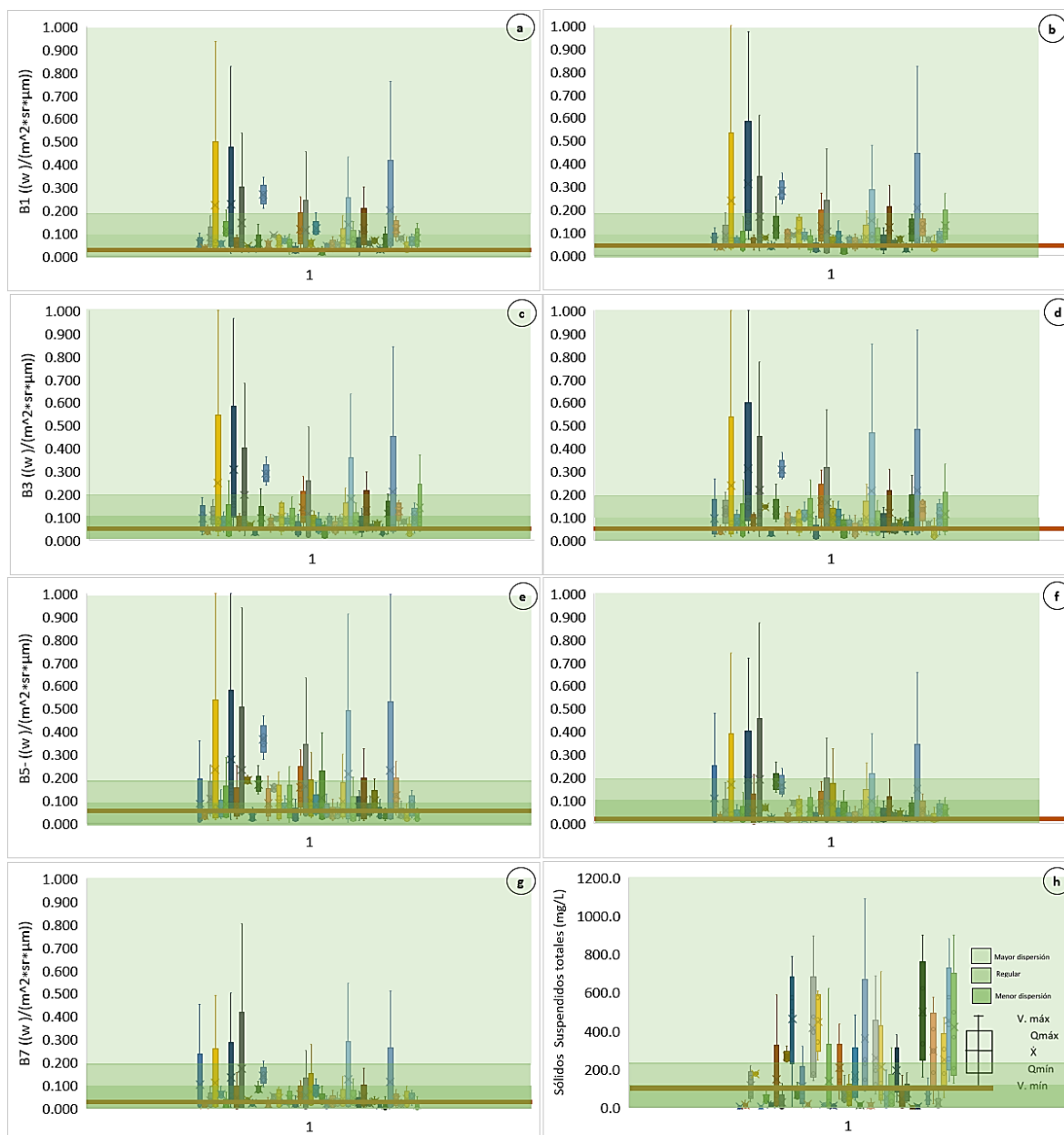


Figura 5.4. a) Dispersión de la B4 (roja) por cuerpo de agua, b) Dispersión de la B5 (infrarrojo cercano) por cuerpo de agua, c) Dispersión de la B6 (infrarrojo medio) por cuerpo de agua, d) Dispersión de los SST por cuerpo de agua.

A nivel de cuartiles, el primer cuartil representa el 95% tiene una estrecha relación con los modelos teóricos (figura 5.4) mientras que el percentil número 2 comprende más del 35% de los datos que representa la mayoría de cantidad de datos utilizadas en este estudio. A partir de lo anterior se observa la relación de los pixeles con mayor moda en el set de datos, es decir es relevante para las estimaciones

de los SST. En el set de datos, el 25% de los SST se encuentra en concentraciones en un intervalo de reflectancia de 0.5-0.88 μm (banda 5 en relación con Landsat 8 OLI y el concomitante con Sentinel) que es la que mejor determina a los SST de acuerdo con la revisión bibliográfica, el 35% de datos en el intervalo de 0.43-0.45 μm (banda 1 en relación con Landsat 8 OLI y el concomitante con Sentinel) y por último 22.7% en la longitud de onda de 0.45-0.51 μm (banda 2 en relación con Landsat 8 OLI y el concomitante con Sentinel). Con base en los datos anteriores presenta pautas para la creación de grupos de reflectancias por medio de las diferencias que existen entre los SST y las reflectancias.

La dispersión de las reflectancias y los SST permitió conocer las bandas representativas para el estudio de los SST, de los cuales corresponden a la longitud de onda del Red (B4; 630-680 nm), NIR (B5; 845-885 nm), y SWIR1 (B6; 1560-1660 nm; figura 5.5; tabla 5.1), sin embargo, es importante mencionar que en las particularidades de cada modelo regional se describe en párrafos posteriores en función de la correlación de bandas y sus transformaciones necesarias¹⁷.

Tabla 5.2. Correlaciones y covarianzas entre coeficientes de variación de desde la B1 a la B7 y SST.

	SST_CA	B1 Aerosol	B2 Blue	B3 Green	B4 Red	B5 NIR	B6 SWIR1	B7 SWIR2
SST_CA	1.000	0.100	0.263	0.266	0.328	0.337	0.265	0.109
B1		1.000	0.844	0.817	0.779	0.796	0.743	0.728
B2			1.000	0.939	0.846	0.794	0.767	0.701
B3				1.000	0.953	0.845	0.823	0.755
B4					1.000	0.864	0.823	0.773
B5						1.000	0.888	0.819
B6							1.000	0.940
B7								1.000

Covarianzas				
	B4	B5	B6	SST
B4	0.001979			
B5	0.002073	0.002732		
B6	0.000927	0.001185	0.000617	
SST	1.590627	2.216449	0.715911	19049.698304

Simbología: banda azul profundo/aerosoles(B1), banda azul (B2), banda verde (B3), banda roja (B4), banda infrarroja cercana (B5) banda infrarroja media (B6), banda infrarroja media 2 (B7).

Las bandas Red (B4; 630-680 nm), NIR (B5; 845-885 nm), y SWIR1 (B6; 1560-1660 nm) discriminaron adecuadamente a los SST con base en los muestreos y a la firma espectral teórica (figura 5.5a). De forma general, las concentraciones de SST y las bandas guardaron un ajuste

¹⁷ Nota: * para los estudios con Sentinel 2A se extrajo las reflectancias de la banda proporcional con Landsat 8 OLI.

adecuado en relación con la dispersión de datos, la cual brinda la pauta al estudio de los SST de manera regional (tabla 5.3). Las medidas de tendencia central de las bandas y los SST presentaron los siguientes resultados; en cuanto a la desviación estándar mínima es de 0.032 ($\frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot \mu m}$) en la B7 mientras que las mayores desviaciones estándar se encuentran en la banda 5 ($S=0.65(\frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot \mu m})$) y en la concentración de los SST ($S=180.306$; anexo IX y X). La cual representa a la banda 5 como variable representativa para la construcción de los modelos regionales debido a la dispersión que presenta entre los datos y pueden jugar un papel importante en la modelación de las regresiones regionales.

Tabla 5.3. Dispersión de los datos incluidos para el diseño de modelos regionales.

Variable	Estadísticos	Valor	Variable	Estadísticos	Valor
B1	$\bar{x}$	0.067	B5	$\bar{x}$	0.071
	Máx	0.934		Máx	1.000
	Mín	0.006		Mín	0.000
	S	0.046		S	0.068
B2	$\bar{x}$	0.084	B6	$\bar{x}$	0.042
	Máx	1.000		Máx	0.872
	Mín	0.007		Mín	0.000
	S	0.058		S	0.040
B3	$\bar{x}$	0.094	B7	$\bar{x}$	0.030
	Máx	1.000		Máx	0.805
	Mín	0.009		Mín	0.000
	S	0.057		S	0.032
B4	$\bar{x}$	0.092	SST	$\bar{x}$	127.613
	Máx	1.000		Máx	1089.401
	Mín	0.002		Mín	0.000
	S	0.062		S	180.306

Simbología: Límite mínimo encontrado (mín), límite máximo encontrado (máx), desviación estándar (S), media de los datos ($\bar{X}$), sólidos suspendidos totales (SST)

En relación con las medias de reflectancias y SST por cuerpo de agua, el 34.88% de los CA (C1), se encuentran con una dispersión de medias aceptables de SST entre ellos, es decir que, la diferencia de medias entre cuerpos de agua no presentan disparidad de manera considerable (figura 5.5 apartado C1) y el 48.84% (Figura 5.5 apartado C2) de reflectancia y presenta medias de concentraciones entre 200-250 mg/L de SST y por último el 16.28% presenta una comparación de concentraciones de SST entre 300-600 mg/L de SST y las reflectancias son variables debido a las condiciones ambientales de cada cuerpo de agua (figura 5.5 apartado C3). El papel importante para integrarlos en las medidas regionales corresponde a los coeficientes que obtendrían cada variable de regresión, ya que cada coeficiente juega la tarea de equilibrar las concentraciones de SST de cada cuerpo de agua para que los errores en las estimaciones se encuentren de forma aceptable.

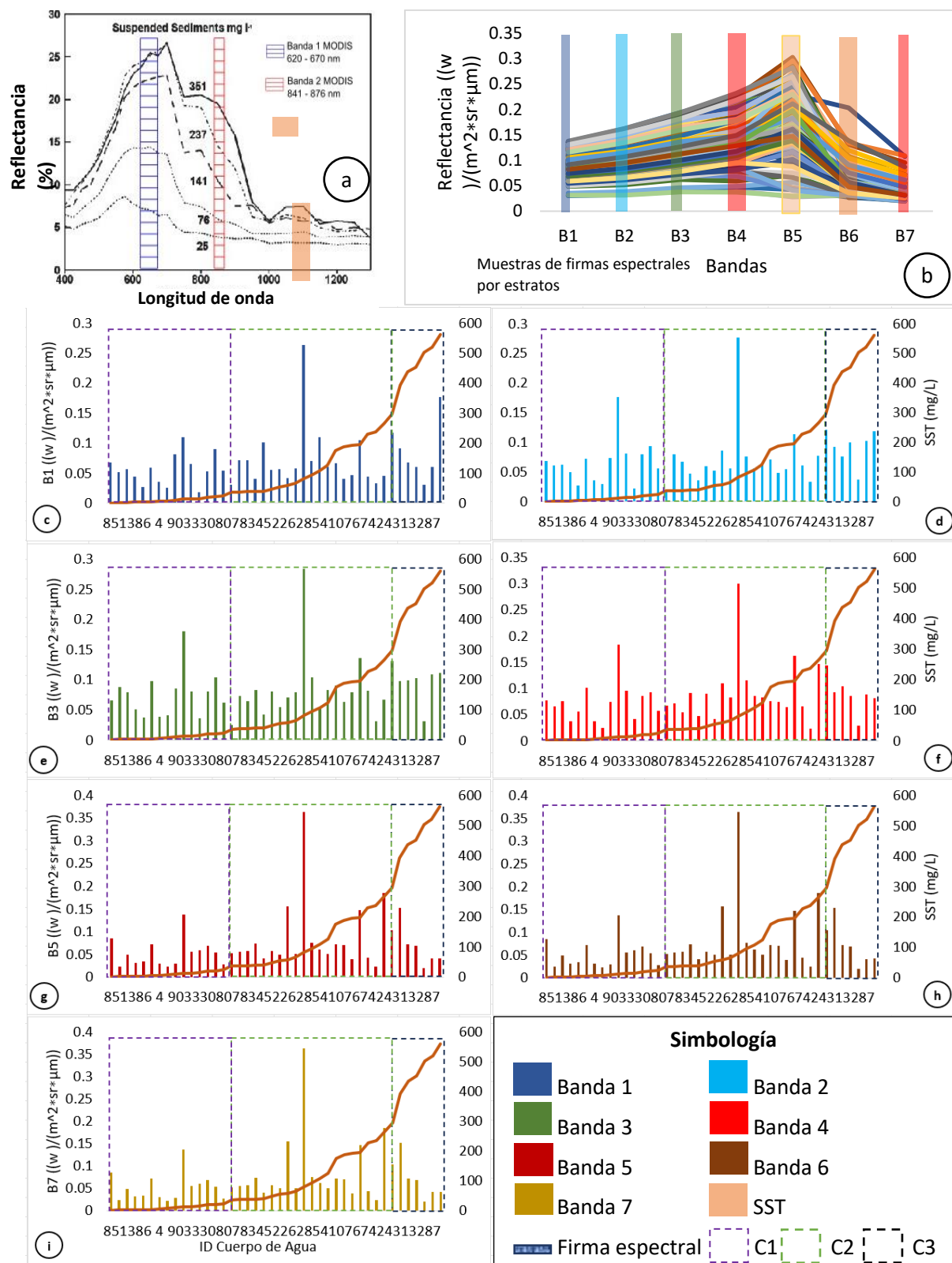


Figura 5.5. a) longitudes de onda que mejor discriminan los SST, b) Longitudes de onda consideradas en la presente investigación (Landsat 8 OLI y Sentinel 2A), c-i) relaciones de longitudes de onda (bandas) con SST de acuerdo con los cuerpos de aguas considerados.

Para comprender la dispersión de los datos con mayores complementos, se analizaron las correlaciones de las longitudes de onda que mejor discriminan a los sólidos suspendidos totales. En primera instancia se presentan las correlaciones bajo la comparación de dos bandas (3D) y en una segunda instancia son mostradas en comparación por pares (2D). En la comparación con dos bandas multiespectrales se puede observar una tendencia adecuada para el estudio de los SST con base en la representación en 3D. Sin embargo, en las bandas comparadas en 2D se observa la complejidad de las concentraciones de SST estimadas y la capacidad explicativa mostradas en las gráficas son valores bajos con una R^2 cercana a 0.1; la cual representa dificultad en la construcción de un solo modelo para la estimación de los SST. A pesar de lo anterior, las distintas aglomeraciones en las figuras 2D pueden ser la herramienta para la creación de diversas aglomeraciones de reflectancia y SST.

La mejor capacidad explicativa a nivel de longitud de onda lo obtiene la banda 2 y banda 3 (y su concomitante con Sentinel 2A; figura 5.6). De los cuales la banda 2 presenta una $R^2= 0.05$ y la banda 3 una $R^2=0.04$. En relación con la representación en 3D se obtuvo una $R^2=0.17$ con la combinación de la B6 y B7, sin embargo, carece de sentido físico, y colinealidad entre las bandas y la cuarta mejor combinación corresponde a la integración de la B3 y la B7 con una $R^2= 0.05$ pero las aglomeraciones de puntos en ciertos intervalos es la que brinda la pauta para la creación de los grupos homogéneos. Una de las características que presenta la nube total de puntos, corresponde a diversas marcas lineales de estimación de SST. Estas marcas alteran la correlación de los SST con las reflectancias, sin embargo, permiten la conformación de las regiones; ya que cada una de ellas serán modeladas a través de coeficientes de cada grupo. Además de lo anterior, las líneas marcadas en las gráficas 2D (figura 5.6) significan que las estimaciones son confiables en la longitud de onda representada (B4 y B5). Con base en lo anterior, en la construcción de los modelos regionales estas bandas son de suma importancia ya que juegan un papel importante en la explicación de la región de SST.

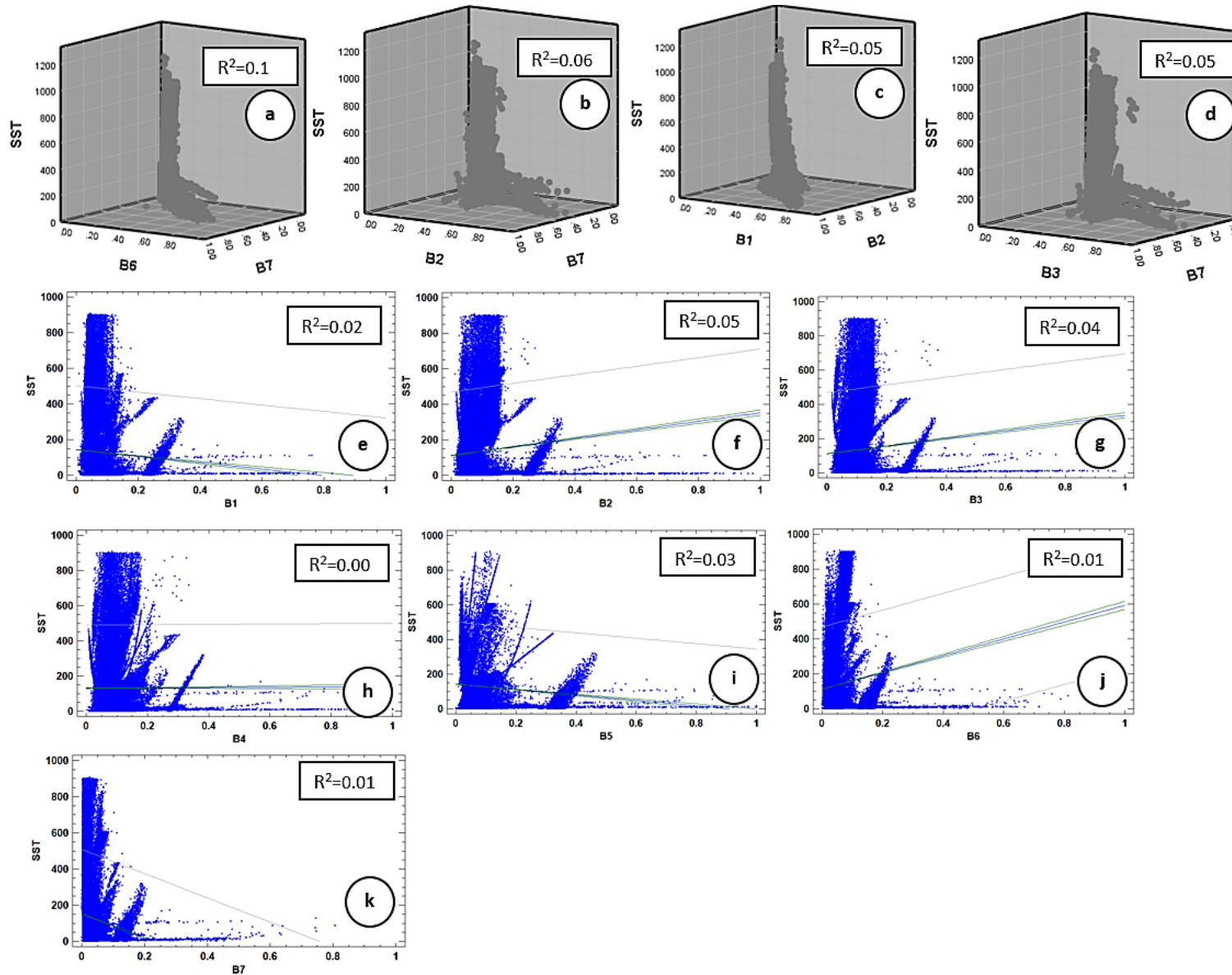


Figura 5.6. 1) Dispersión tridimensional entre bandas y SST, 2) dispersión bidimensional entre las bandas y TSS. Donde la 2a corresponde a la correlación entre la banda 4 (Red) y los SST, 2b relación entre los SST y banda 5(NIR), 2c relación entre los SST y banda 6 (SWIR1), 2d relación de B4 y B5, 2e relación entre B4 y B5, 2f relación de B5 y B6.

5.3.1 Comportamiento de las estadísticas por dinámica del agua

El comportamiento del agua bajo el sistema léntico y lótico permitió comprender los coeficientes de variación (CV), media, varianza etcétera (figura 5.7), ya que las aguas lólicas presentan reflectancias con tendencia similar a las seguidas por los SST. Mientras que en aguas lénticas algunos cuerpos de aguas presentan mayor dispersión en las reflectancias. Por último, en relación con los SST el comportamiento tanto de las aguas lénticas como lólicas no se puede distinguir un patrón de forma significativa (debido a la dinámica en la elaboración de los modelos de regresión lineales y no lineales).

Existen cuerpos de agua como el 76 y el 25 donde la disparidad en la estimación de SST es drástica, sin embargo, se debe a que la calibración de origen fue basada únicamente el sitio. Estos cuerpos de agua juegan un papel determinante en la obtención de los coeficientes de las variables regresoras que compren al modelo regional. El procedimiento anterior se describe en el apartado 5.4 construcción de las regiones y el apartado 5.5 selección de las bandas del modelo regional en donde se explica cada uno de los parámetros estadísticos obtenidos para la generación de estimaciones confiables.

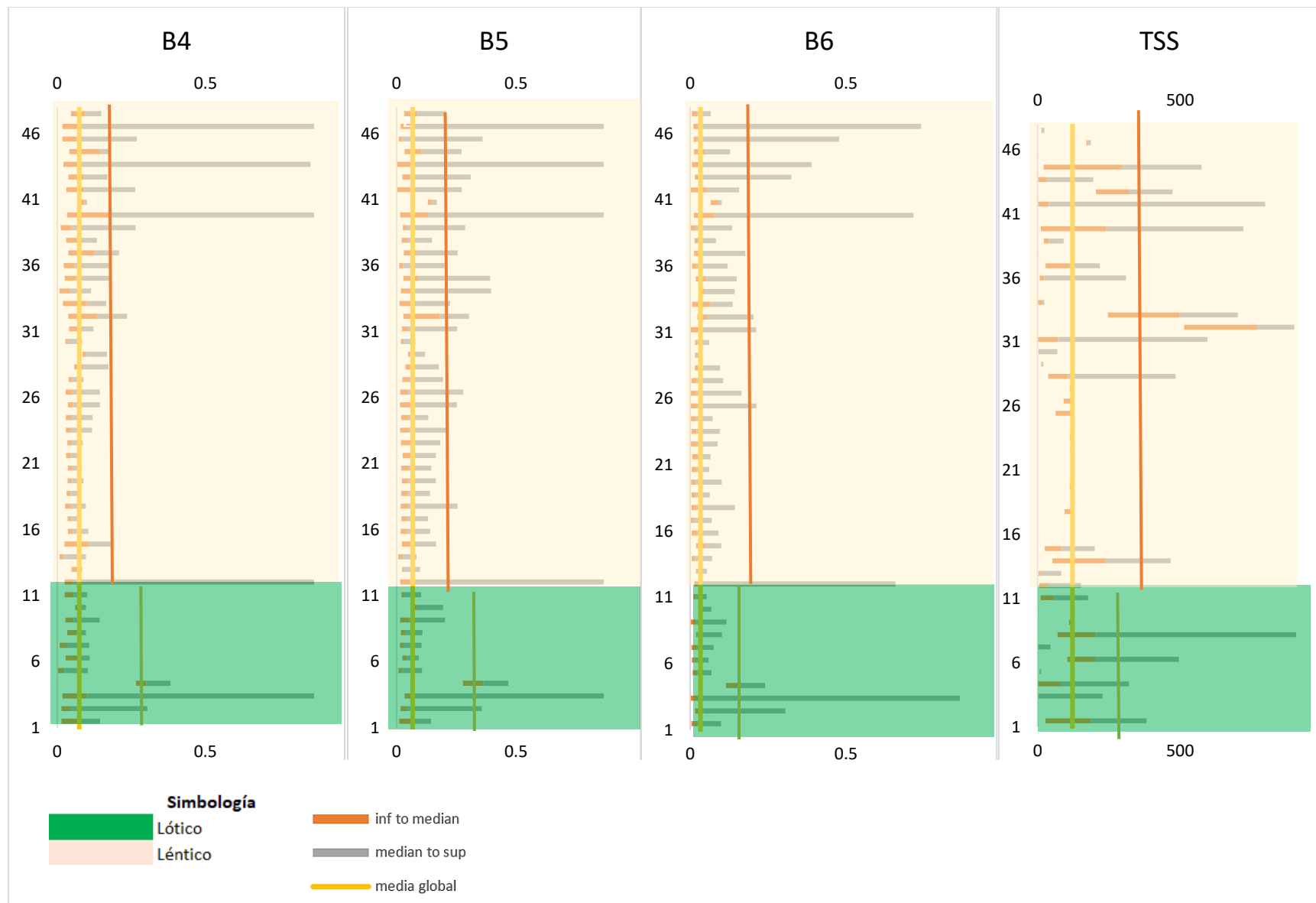


Figura 5.7. Variación de media global poblacional y medias de medias por categoría local de TSS, B4, B5 y B6 en los cuerpos de agua.

5.4. Análisis jerárquico de clústers y de correspondencia de reflectancia vs SST (etapa 3)

5.4.1 Clusters por hierarchical Clusters Analysis

La construcción de las regiones homogéneas fue basada en primera instancia en clústers por la técnica *hierarchical Clusters Analysis* ya que asoció a los cuerpos de agua, aportando 8 regiones homogéneas (figura 5.8). Sin embargo, algunos cuerpos de aguas fueron reubicados por análisis de correspondencia como se discute posteriormente .

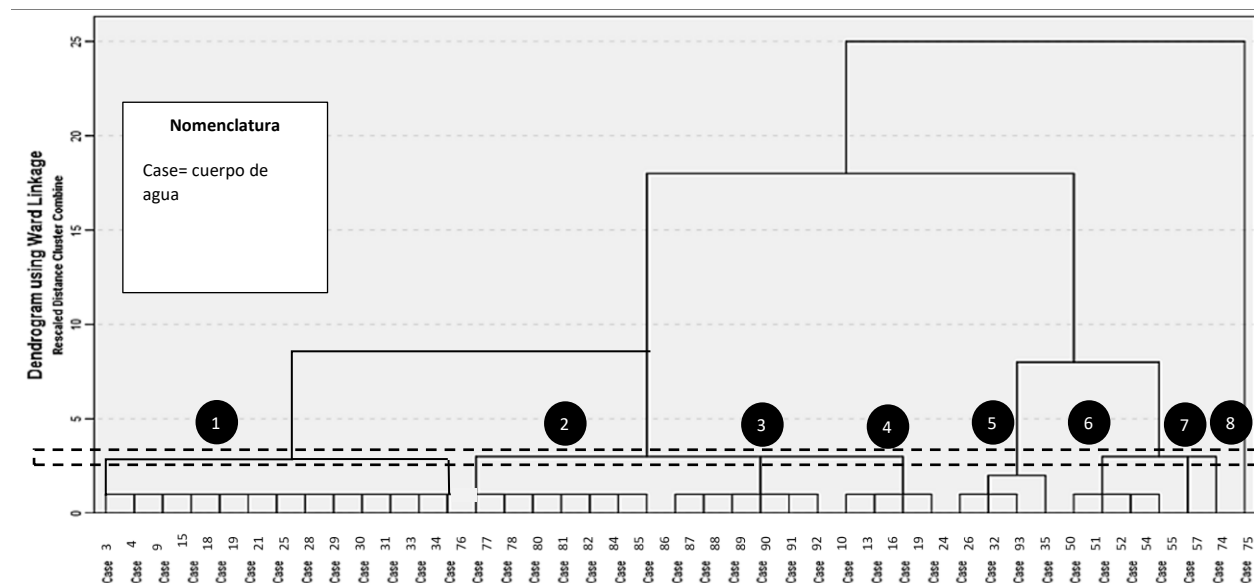


Figura 5.8. Agrupación del dendrograma para la formación de grupos de modelos

De acuerdo con la agrupación de clúster *hierarchical Clusters Analysis* se hizo un corte en relación con la interacción de 3.27 varianzas de los datos (figura 5.11, anexo XI). Es decir, esta es la medida utilizada para la agrupación de cada segmento. A partir de lo anterior, se distinguieron los 8 grupos de clúster jerárquico basado en las reflectancias (desde banda 1 a banda 7 tomando como referencia Landsat y su correspondiente a Sentinel). Un punto crítico de la formación de estos grupos está asociado con la distribución espacial ya que no sigue un patrón esperado tomando como referencias eventos y procesos climáticos y latitudinales (tabla 5.4). De forma numérica se presenta la matriz de proximidad en valores rescalados de 0 a 1 y la mayoría de los casos (cuerpos de agua) presentan proximidades pequeñas (0.01-0.03) que corresponden a la región uno, y la diferenciación entre el resto de las regiones homogéneas se encuentra en un intervalo de (0.14-0.35).

Tabla 5.4. Agrupación del dendograma para la formación de grupos de modelos

Case	Proximity Matrix																																									
	Rescaled Euclidean Distance with Ward Method																																									
	1:3 Río Brahmani, Orissa	2:4 Embalse de Pradp, Tolima, Colombia	3:9 Red River basin in Northern Vietnam	4:10 Hedi Reservoir BasinZhanjiang, Guangdong Province, and Yulin,	5:13 Moyangjiang River Estuary	6:15 Tapajós River Basin in the Brazilian Amazon	7:18 Mekong River - Mekong Delta in Viet Nam Buscar en Google Map	8:19 P. J. A. Alzate, México	9:21 Lakes Onoke and Wairarapa	10:24 Boundary of Indonesian	11:25 Chebara Basin	12:26 Lake Taihu	13:28 Lake Tempe, South Sulawesi	14:30 Sidoarjo Regency	15:31 Bijayapur Khola	16:32 Kendari Bay	17:33 LYTTELTON HARBOUR	18:34 Senegal River Basin B	19:35 Mosul Dam Lake	20:50 Orinoco River, Venezuela	21:51 Saint John River (SJR)	22:52 Fuzhou City	23:54 Waikare	24:55 Oloshiganda Cuvelai-Etoshha Basin	25:74 Shengjin Lake	26:75 Basilicata, Italia	27:76 Chaohu Lake.	28:77 Poyang Lake, China	29:78 Rhine River	30:80 Gajahmungkur Reservoir, Indonesia	31:81 Hugli estuary	32:82 Lake Dongting	33:84 Nakdong River	34:85 Wular Lake Himalayan Lake (Kashmir)	35:86 Amazonas Lake Paru	36:87 Peninsula de Guadalquivir Río Guadalquivir	37:88 Wadasintang Reservoir	38:89 Kampar River estuary	39:90 Hulun Lake	40:91 Xin' anjiang Reservoir	41:92 igual con 82 Dongting Lake in China (PARTE B)	42:93 Cadiz Bay
1:3 Río Brahmani, Orissa	0.00	0.08	0.12	0.13	0.09	0.10	0.33	0.05	0.07	0.30	0.38	0.42	0.87	0.07	0.38	0.35	0.05	0.11	0.09	0.32	0.11	0.04	0.17	0.12	0.16	0.06	0.13	0.09	0.06	0.03	0.14	0.09	0.06	0.07	0.08	0.38	0.05	0.30	0.03	0.20	0.33	0.28
2:4 Embalse de Pradp, Tolima, Colombia	0.08	0.00	0.19	0.17	0.14	0.09	0.41	0.10	0.14	0.32	0.36	0.44	0.94	0.12	0.41	0.38	0.12	0.15	0.01	0.38	0.04	0.10	0.21	0.07	0.17	0.02	0.14	0.12	0.11	0.06	0.14	0.17	0.05	0.11	0.01	0.40	0.08	0.35	0.10	0.17	0.36	0.30
3:9 Red River basin in Northern Vietnam	0.12	0.19	0.00	0.07	0.14	0.17	0.25	0.07	0.07	0.19	0.34	0.37	0.78	0.08	0.28	0.26	0.09	0.11	0.20	0.20	0.18	0.07	0.16	0.19	0.13	0.17	0.11	0.06	0.10	0.13	0.11	0.08	0.13	0.11	0.18	0.29	0.11	0.17	0.11	0.22	0.24	0.21
4:10 Hedi Reservoir BasinZhanjiang, Guangdong Province, and Yulin,	0.13	0.17	0.07	0.00	0.14	0.15	0.30	0.08	0.12	0.18	0.27	0.36	0.81	0.12	0.23	0.21	0.12	0.11	0.18	0.21	0.17	0.09	0.14	0.17	0.08	0.16	0.06	0.04	0.10	0.13	0.06	0.11	0.11	0.12	0.18	0.24	0.10	0.17	0.13	0.15	0.19	0.15
5:13 Moyangjiang River Estuary	0.09	0.14	0.14	0.14	0.00	0.15	0.29	0.08	0.08	0.27	0.39	0.36	0.81	0.11	0.35	0.34	0.08	0.08	0.14	0.27	0.16	0.08	0.11	0.12	0.19	0.11	0.17	0.12	0.08	0.08	0.17	0.10	0.10	0.08	0.15	0.39	0.09	0.28	0.11	0.21	0.32	0.30
6:15 Tapajós River Basin in the Brazilian Amazon	0.10	0.09	0.17	0.15	0.15	0.00	0.39	0.10	0.14	0.31	0.35	0.45	0.90	0.13	0.38	0.36	0.11	0.17	0.11	0.35	0.10	0.10	0.17	0.14	0.16	0.08	0.14	0.11	0.10	0.08	0.14	0.14	0.07	0.11	0.10	0.38	0.07	0.31	0.08	0.18	0.33	0.28
7:18 Mekong River - Mekong Delta in Vietnam	0.33	0.41	0.25	0.30	0.29	0.39	0.00	0.31	0.25	0.30	0.56	0.32	0.54	0.29	0.34	0.39	0.29	0.28	0.42	0.16	0.42	0.30	0.31	0.39	0.38	0.39	0.36	0.31	0.28	0.35	0.36	0.23	0.36	0.29	0.41	0.43	0.32	0.24	0.32	0.45	0.38	0.38
8:19 P. J. A. Alzate, México	0.05	0.10	0.07	0.08	0.08	0.10	0.31	0.00	0.05	0.24	0.33	0.38	0.84	0.06	0.32	0.30	0.05	0.07	0.11	0.27	0.10	0.00	0.14	0.11	0.11	0.08	0.09	0.03	0.04	0.04	0.09	0.08	0.05	0.06	0.10	0.33	0.04	0.24	0.06	0.16	0.28	0.23
9:21 Lakes Onoke and Wairarapa	0.07	0.14	0.07	0.12	0.08	0.14	0.25	0.05	0.00	0.24	0.40	0.36	0.79	0.05	0.33	0.33	0.04	0.06	0.15	0.24	0.15	0.04	0.16	0.14	0.17	0.12	0.15	0.09	0.05	0.09	0.15	0.05	0.10	0.04	0.14	0.36	0.07	0.25	0.07	0.23	0.31	0.28
10:24 Boundary of Indonesian	0.30	0.32	0.19	0.18	0.27	0.31	0.30	0.24	0.24	0.00	0.32	0.30	0.73	0.25	0.15	0.21	0.27	0.21	0.33	0.16	0.29	0.24	0.24	0.28	0.23	0.32	0.22	0.21	0.25	0.29	0.20	0.26	0.27	0.24	0.32	0.26	0.26	0.17	0.30	0.28	0.18	0.24
11:25 Chebara Basin	0.38	0.36	0.34	0.27	0.39	0.35	0.56	0.33	0.40	0.32	0.00	0.55	1.00	0.38	0.31	0.19	0.38	0.37	0.36	0.42	0.34	0.35	0.35	0.36	0.21	0.36	0.23	0.30	0.37	0.35	0.24	0.40	0.33	0.39	0.36	0.20	0.35	0.33	0.38	0.19	0.19	0.19
12:26 Lake Taihu	0.42	0.44	0.37	0.36	0.36	0.45	0.32	0.38	0.36	0.30	0.55	0.00	0.65	0.40	0.31	0.42	0.41	0.30	0.44	0.27	0.44	0.38	0.36	0.37	0.44	0.43	0.42	0.39	0.36	0.41	0.41	0.37	0.40	0.35	0.44	0.48	0.39	0.39	0.43	0.46	0.42	0.46
13:28 Lake Tempe, South Sulawesi	0.87	0.94	0.78	0.81	0.81	0.90	0.54	0.84	0.79	0.73	1.00	0.65	0.00	0.83	0.69	0.80	0.83	0.80	0.96	0.58	0.94	0.84	0.78	0.91	0.89	0.92	0.88	0.84	0.82	0.88	0.88	0.77	0.88	0.81	0.95	0.85	0.85	0.68	0.85	0.95	0.80	0.85
14:30 Sidoarjo Regency	0.07	0.12	0.08	0.12	0.11	0.13	0.29	0.06	0.05	0.25	0.38	0.40	0.83	0.00	0.35	0.33	0.03	0.11	0.14	0.28	0.13	0.04	0.18	0.15	0.16	0.11	0.14	0.08	0.05	0.08	0.13	0.07	0.09	0.05	0.12	0.36	0.06	0.26	0.06	0.22	0.32	0.26
15:31 Bijayapur Khola	0.38	0.41	0.28	0.23	0.35	0.38	0.34	0.32	0.33	0.15	0.31	0.31	0.69	0.35	0.00	0.14	0.36	0.30	0.41	0.17	0.40	0.33	0.29	0.37	0.28	0.40	0.28	0.29	0.32	0.37	0.28	0.32	0.34	0.33	0.41	0.21	0.34	0.17	0.37	0.32	0.14	0.22
16:32 Kendari Bay	0.35	0.38	0.26	0.21	0.34	0.36	0.39	0.30	0.33	0.21	0.19	0.42	0.80	0.33	0.14	0.00	0.34	0.31	0.38	0.25	0.37	0.31	0.29	0.37	0.21	0.37	0.23	0.26	0.32	0.34	0.23	0.32	0.32	0.34	0.39	0.09	0.32	0.16	0.35	0.25	0.03	0.11
17:33 LYTTELTON HARBOUR	0.05	0.12	0.09	0.12	0.08	0.11	0.29	0.05	0.04	0.27	0.38	0.41	0.83	0.03	0.36	0.34	0.00	0.11	0.14	0.28	0.13	0.03	0.15	0.15	0.16	0.10	0.13	0.08	0.05	0.06	0.13	0.06	0.09	0.05	0.12	0.37	0.06	0.26	0.04	0.21	0.32	0.27
18:34 Senegal River Basin B	0.11	0.15	0.11	0.11	0.08	0.17	0.28	0.07	0.06	0.21	0.37	0.30	0.80	0.11	0.30	0.31	0.11	0.00	0.15	0.23	0.15	0.07	0.14	0.10	0.18	0.13	0.15	0.10	0.08	0.11	0.14	0.11	0.10	0.07	0.14	0.35	0.10	0.26	0.13	0.21	0.29	0.28
19:35 Mosul Dam Lake	0.09	0.01	0.20	0.18	0.14	0.11	0.42	0.11	0.15	0.33	0.36	0.44	0.96	0.14	0.41	0.38	0.14	0.15	0.00	0.39	0.06	0.12	0.22	0.06	0.18	0.02	0.15	0.14	0.13	0.07	0.15	0.18	0.06	0.13	0.03	0.41	0.10	0.37	0.12	0.16	0.36	0.31
20:50 Orinoco River, Venezuela	0.32	0.38	0.20	0.21	0.27	0.35	0.16	0.27	0.24	0.16	0.42	0.27	0.58	0.28	0.17	0.25	0.28	0.23	0.39	0.00	0.37	0.27	0.23	0.34	0.29	0.36	0.29	0.25	0.26	0.32	0.28	0.23	0.31	0.26	0.38	0.31	0.29	0.13	0.31	0.36	0.24	0.28
21:51 Saint John River (SJR)	0.11	0.04	0.18	0.17	0.16	0.10	0.42	0.10	0.15	0.29	0.34	0.44	0.94	0.13	0.40	0.37	0.13	0.15	0.06	0.37	0.00	0.10	0.21	0.08	0.16	0.07																

5.4.2 Análisis de correspondencia

Una vez construida los 9 segmentos se realizaron pruebas de modelación de las regiones homogéneas, y debido a la complejidad que proporcionaban algunos cuerpos de agua (modelo regional 9: CA=19,32,80,81,90,92), ocasionada por el diseño de su modelo propio fue necesario realizar análisis complementarios. Uno de ellos fue el análisis de correspondencia por pares para la reintegrar de los cuerpos de agua en regiones homogéneas afín a su modelación. El análisis de correspondencia consistió en una serie de pasos para la reasignación de grupos, de las cuales son los siguientes; 1) identificación de algunas medidas de dispersión (mínimo, promedio y máximo de las concentraciones de SST), y una pre-construcción de regiones a partir de estos datos utilizando la técnica K-means, 2) en segunda instancia se contabilizaron en cuantos cuerpos de agua puede converger el cuerpo de agua (integrarse en él) y como resultado se construyó una matriz donde se presenta el número de correspondencia de cada CA (tabla 5.5). A través del resultado anterior, se encontró que 6 cuerpos de agua clasificados en la región 1 y 2 por la clasificación jerárquica de Ward generan dificultad en la interacción de los modelos. Sin embargo, por medio del análisis de correspondencia fue reagrupado a otras regiones donde su modelación es significativa, sobre todo, en la capacidad explicativa y colinealidad en la construcción del modelo. Como resultado del análisis anterior el cuerpo de agua 31, paso a la al modelo regional 5, el cuerpo de agua 35 al modelo 4, el cuerpo de agua 87 a la región 6 y el 90 y 88 al 6. Sin embargo, a pesar de la metodología de Ward y análisis de correspondencia existieron 5 cuerpos de agua que no pudieron ser agrupados con una región homogénea (modelo regional) debido a que sus variables regresoras presentan coeficientes complejos en función del sentido físico y a la naturaleza matemática del modelo (cuerpos 19,18,34,81,82,). Estos CA fueron considerados en la validación en la prueba de los modelos regionales (ver apartado 5.5).

Simbología: identificador mundial (ID_MUN).

De acuerdo con el análisis exhaustivo del comportamiento de las regresiones en la estimación de los SST se integraron las variables regresoras en función de similitud de regresiones, temporalidad, longitud de onda utilizada como variable regresora y tipo de modelo. Para lograr lo anterior, se utilizaron muestras estratificadas de píxeles con base en datos de las bandas multiespectrales del sensor Landsat 8 OLI y sus correspondientes con el sensor Sentinel 2A. De manera general el modelo regional (MR1) corresponde a cuerpos de agua cercanos a zonas costeras y está integrado en mayor cantidad por lagos (57.14%). Para la región 2 y 3 corresponde a cuerpos de agua cuyo afluente tienen salida en el mar u océano. Para el caso de la modelo regional 4 la totalidad de los cuerpos de agua que lo integran son lagos, mientras que el modelo regional 5 únicamente el 80% de CA y en el modelo regional 8 con un 66.6% de CA. Mientras tanto, en el modelo regional 6 se encuentran distribuidos los cuerpos de agua de forma equitativa en relación con ríos y lagos. Para el caso del modelo regional 7 es la una región que se encuentra compuesto por el 100% de ríos. Por último, el modelo regional 8 el 60% son lagos, sin embargo, es importante mencionar que este grupo su modelo está basado en transformaciones logarítmicas (figura 6.12).

5.5 Selección de bandas para modelos regionales (etapa 4)

La integración de los modelos fue basada en datos confiables del muestreo estratificado dado que se realizaron pruebas para identificar colinealidad, outliers, homocedasticidad en los datos, significancia e iteraciones (tabla 5.6; anexo XIII) y pruebas estadísticas (chi-cuadrada, White, etc.). En general, los modelos regionales se encuentran integradas por 3 variables independientes. A manera de distribución espacial de los modelos regionales, se presenta en la figura 5.9 los cuerpos de aguas georreferenciados, así como los cuerpos de agua utilizados como sitios de prueba (codificación 0).

Los resultados obtenidos para los datos de entrada indican que 7 de los 8 modelos finales son homocedásticos, únicamente el modelo 7 presenta errores no constantes en el intervalo de estimación (nota el segmento b del modelo regional 1). En cuanto al resto de estadísticos la optimización de los modelos a través del software Stratgraphic, Risk Simulator, y IBM SPSS Statistics mostraron resultados significativos para cada región homogénea (tabla 5.6). Para complementar la construcción de los modelos regionales se presentan la distribución espacial de los CA a fin de discutir la distribución de los cuerpos de agua en relación con la integración por regiones.

Table 5.6. Supuestos de validación a los datos de entrada de cada modelo regional

Prueba estadística	Modelo	MR1A		MR1B		MR2		MR3		MR4	
		Variables independientes		Variables independientes		Variables independientes		Variables independientes		Variables independientes	
		V _{crit}	V	V _{crit}	V	V _{crit}	V	V _{crit}	V	V _{crit}	V
Homocedasticidad	W-p-value > V _{crit}	0.1	0.17	0.1	0.21	0.1	0.23	0.1	0.10	0.1	0.25
Prueba χ^2 cuadrada	$\chi^2 < V_{crit}$	6.14	3.11	5.81	3.17	11.07	7.3	6.81	2.25	10.48	2.26
Valores atípicos	$V_{calc} \leq V_{crit}$		21		67		247		104		101
Colinealidad	FIV < V _{crit}	4	3.97	4	7.74	4	4.38	4	0.21	4	2.6
	$r \leq V_{crit}$	0.75	0.748	0.75	0.81	0.75	0.82	0.75	0.74	0.75	0.78
Multicolinealidad	$F > V_{crit}$	3.4	23.45	3.7	13.2	3.68	6.21	3.7	19.08	3.63	6.75
Normalidad	$D < V_{crit}$	0.22	0.101	0.21	0.17	0.14	0.11	0.22	0.19	0.22	0.08
Significancia	$P\text{-value} \leq V_{crit}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.05	0	0.05	0.09
E	$E \geq 0.7$	0.7	0.91	0.7	0.88	0.7	0.91	0.7	0.8	0.7	0.81

Prueba estadística	Modelo	MR5		MR6		MR7		MR8A		MR8B	
		Independent variables		Independent variables		Independent variables		Independent variables		Independent variables	
		V _{crit}	V	V _{crit}	V	V _{crit}	V _{crit}	V _{crit}	V	V _{crit}	V
Homocedasticidad	W-p-value > V _{crit}	0.1	0.25	0.1	0.33	0.1	0.09	0.1	0.18	0.1	0.11
Prueba χ^2 cuadrada	$\chi^2 < V_{crit}$	7.81	4.54	7.81	4.65	11.07	9.3	7.81	2.25	10.23	13.02
Valores atípicos	$V_{calc} \leq V_{crit}$		111		31		47		17		17
Colinealidad	FIV < V _{crit}	4	0.21	4	0.16	4	4	4	0.21	4.6	0.21
	$r \leq V_{crit}$	0.75	0.74	0.75	0.75	0.75	0.86	0.75	0.81	0.75	0.74
Multicolinealidad	$F > V_{crit}$	3.7	22.9	3.7	13.2	3.68	6.25	3.7	19.08	4.11	19.08
Normalidad	$D < V_{crit}$	0.22	0.12	0.22	0.17	0.17	0.22	0.22	0.19	0.18	0.36
Significancia	$P\text{-value} \leq V_{crit}$	0.05	0.19	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05
E	$E \geq 0.7$	0.7	0.89	0.7	0.83	0.7	0.88	0.7	0.86	0.87	0.94

Simbología: modelo regional (MR), Factor de inflación de la varianza (VIF), Valor calculado (V), valor critico (V_{crit}). Nash-sutcliffe (E).

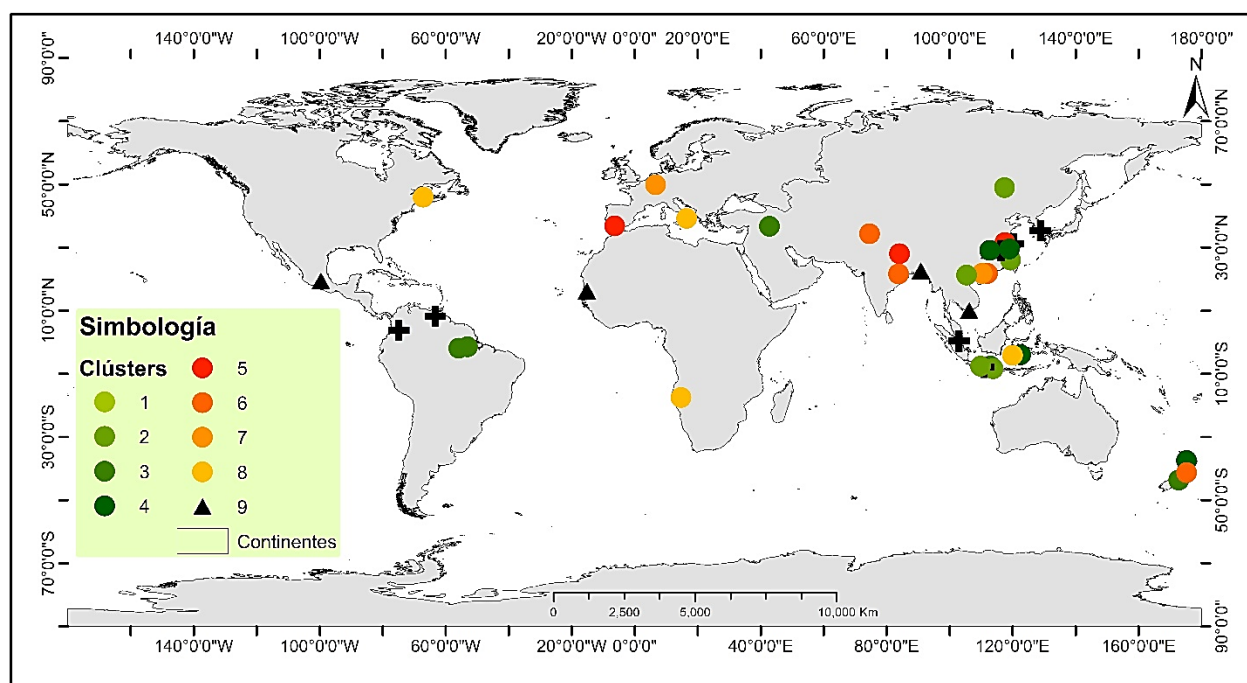


Figura 5.9. Comportamiento espacial de los modelos regionales encontradas. Nota. Los CA con ID 9 corresponde a cuerpos para validación.

Una vez identificadas las regiones homogéneas, el grupo homogéneo número 9 (CA=19,14,18,28) se consideró para la validación del resto de los modelos regionales. De acuerdo con la tabla 5.6 los datos críticos de los modelos regionales se presentan en la prueba de $W\text{-p-value}(0.09) > V_{\text{crit}}(0.1)$ (correspondiente al modelo regional 7) ya que no cumple con las reglas críticas de la estadística $W\text{-p-value} > V_{\text{crit}}$. En general la validación de los datos de entrada indica que los modelos regionales 1a,2,4,5,6,3 son homocedáticos como lo muestra la prueba de White (tabla 5.6). Mientras tanto, los modelos regionales 1B,3,7 presentan heterocedasticidad en los datos por lo tanto en ciertos umbrales de datos la varianza de las estimaciones de SST pierde confianza en algunas regiones de longitud de onda. También en el análisis de multicolinealidad el modelo 1B y 7 no cumplen con esta prueba ya que presenta un $FIV \geq 4.0$. En cuanto a la significancia y normalidad los modelos cumplen con esta prueba al menos en un 90% de los datos. La configuración de los modelos regionales presenta $\leq 3.1\%$ ($n=111$) de *outlier* y es ocasionado por los límites de estimación de las variables regresoras o bien con firmas espectrales caóticas (anexo 19). Es importante mencionar que del 3.1% de valores atípicos se eliminó aproximadamente el 20% de ellas de forma manual, para mejorar la capacidad explicativa ajustada como lo sugieren los estadistas (Mun, 2012). A partir de lo anterior se estructuraron las características de cada modelo regional (tabla 5.7). La estructura está basada en la capacidad explicativa ajustada de cada región (R^2), raíz del error cuadrático medio (RMSE), MAPA, iteración (I; anexo XIV). Las bandas que integran los modelos regionales corresponden

a la B1 a la B5 debido a que presentan relación con el sentido físico de los sólidos suspendidos totales. Para complementar un mejor ajuste estas bandas fueron utilizadas con transformaciones matemáticas (logaritmo base 10, logaritmo neperiano, y banda con exponente cuadrático y relaciones aritméticas). De acuerdo con la bibliografía, la banda NIR (B5) presenta una relación adecuada para la determinación de los SST, y la mayoría de los modelos utilizaron esta banda para la modelación de SST, sin embargo, en el presente estudio también se encontró que la banda Blue coastal (B1;430-0.450 nm) pudiera estar ayudando a la determinación de A nivel individual, los modelos regionales 3, 4, 6 y 7 tienen un comportamiento similar entre ellas, lo anterior porque en las primera dos bandas reflejan en promedio $0.1 \left(\frac{w}{m^2 * sr * \mu m} \right)$ de reflectancia y de la banda 4 a la banda 6 tienen variabilidad entre la energía reflejada por CA (figura 5.22). Para el caso de los modelos regional 1,2,5,6 tienen variabilidad marcada en las reflectancias (figura 5.22). La diferenciación de cada modelo regional es descrita de forma significativa con coeficientes que integra cada variable regresora de cada estudio.

Tabla 5.7. Modelos regionales, tipo, estadísticas y capacidad explicativa.

MR	Modelo	i	RMSE	R ²
$MR1 = \begin{cases} MR1a \\ MR1b \end{cases}$	Polinomial	5	42.3	0.87
	Polinomial	5	4.2	0.41
MR2	Polinomial	5	14.2	0.92
MR3	Polinomial	5	15.74	0.93
MR4	Polinomial	5	26.2	0.89
MR5	Polinomial	5	64.2	0.79
MR6	Polinomial	5	21.6	0.92
MR7	Logarítmica trans.	5	0.97	0.91
$MR8 = \begin{cases} MR8a \\ MR8b \end{cases}$	Lineal trans.	5	18.2	0.93
	Polinomial	5	11.7	0.71

Simbología: coeficiente de determinación ajustado (R²). Nota: El modelo regional 1 y 8 poseen dos segmentos en la modelación debido a las características de las reflectancias y modelos de SST de los autores y el MR7 está calibrado bajo LN (MR7), es decir a los resultados se le debe de hacer las transformaciones necesarias.

La capacidad explicativa ajustada (R²) de los modelos oscila entre 0.65 a 0.90, únicamente una regresión alterna (MR1b) presenta una R²=0.41 debido a la complejidad y alcance del modelo regional 1a. Para el RMSE los valores se encuentran en un intervalo de 9-36 mg/L y los MR2, MR6, MR8 son los que presentan menor RMSE con datos <21.6 mg/L. Para la calibración de los modelos se utilizaron en promedio 5 iteraciones en la validación cruzada (tabla 5.7). Para la distinción de los modelos regionales cuando se pretende generar estimaciones en otro cuerpo de agua que no es integrado en el modelo, se realizó la caracterización de ellas a través de las bandas y variables ambientales con significancia adecuada a nivel de modelo regional.

5.6 Características de los modelos regionales (etapa 5)

Los 8 modelos regionales fueron caracterizados bajo variables ambientales, para lograr lo anterior se realizaron los siguientes procesos: en primera instancia se realizó la caracterización mensual de las variables ambientales, con la única finalidad de indicar al usuario el comportamiento de los valores de las VA a lo largo del año y su sensibilidad para tomarlo como referencia en la estimación de un cuerpo de agua que no se encuentre en el modelo (anexo XV). En segunda instancia se graficaron y elaboraron tablas de los promedios anuales de cada modelo regional con la cual se determinaron los valores anuales (anexo XVI). Las variables ambientales considerados en la caracterización de los modelos regionales está basada en valores promedios de 30 años. Dichas VA corresponden a vapor de agua(VAPA), temperatura mínima (TMIN), temperatura máxima (TMAX), temperatura promedio (TPROM), radiación solar (RADSOL), Altitud, precipitación (Prec) y vientos, presentadas en función de la unidad estándar que se utiliza para evaluar cada VA (tabla 5.8: anexo XV). A nivel mensual las figuras 5.10a-c muestran que la temperatura y la precipitación presentan valores mínimos en enero, febrero y marzo. Para el caso de la temperatura mínima (figura 5.10b) se encuentra en los meses de diciembre, enero y febrero. La temperatura máxima indica mayor dispersión en enero, febrero y diciembre lo anterior debido a que el periodo de invierno impacta de manera diversa en la zona norte y para la zona sur en verano (figura 5.10c). La TASA presenta valores altos en marzo y abril y mínimos en febrero y diciembre y con dispersión alta. Mientras tanto el VAPA indica un comportamiento similar en dispersión de los meses, y con un incremento esperado de acuerdo con las condiciones de los meses del año, únicamente en los meses de septiembre y octubre el vapor de agua incrementa (3.5 Kpa). La radiación solar corresponde a la VA con mayor dispersión en los meses de diciembre, enero, febrero, mayo y junio. La figura 5.10f asociada a vientos indica que los meses de fin de año la radiación es mínima debido a las condiciones de temperatura y precipitación. Para el mes de julio se encuentra el valor promedio más alto cercano a 38 mm día⁻¹ y en el mes de diciembre el valor más bajo. Los CA se encuentran concentrados aproximadamente a una altitud de los 0-1500 msnm (figura 5.10i), por lo tanto, las condiciones climáticas sean similares correspondiente a aerosoles, CO₂, etc. ya que estas variables influyen en los valores de la reflectancia captadas por Landsat y Sentinel 2A.

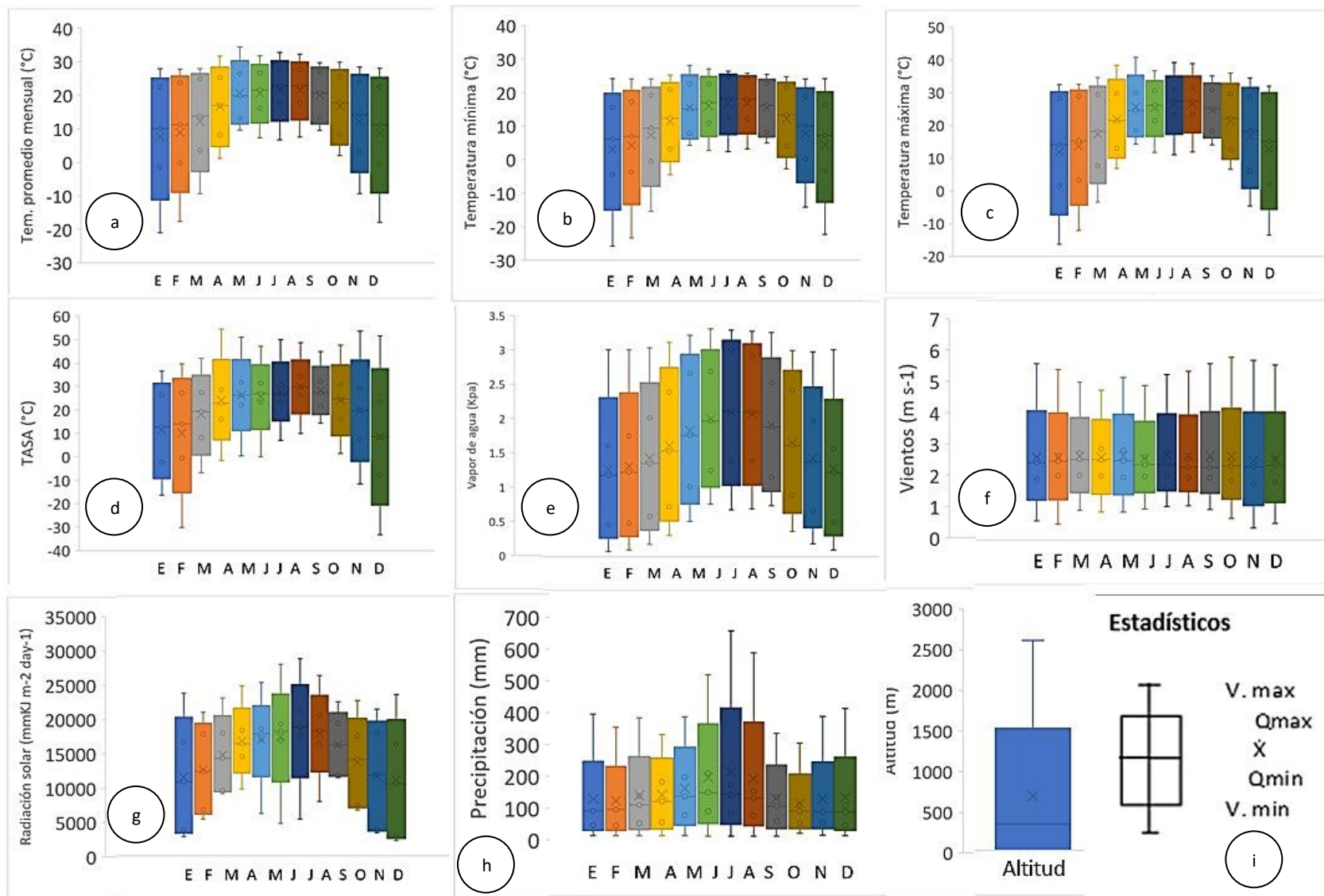


Figura 5.10. Variables ambientales consideradas en la generación de clústers. Simbología: valor máximo (v. máx), cuartil 1 (Q_{mín}), promedio ($\bar{X}$), cuartil 3 (Q_{máx}) y valor mínimo (v. mín).

En segunda instancia se presenta los valores promediados de forma anual a fin de presentar la característica general de los modelos regionales. De acuerdo con lo anterior, los modelos regionales 5,6,7 presentaron intervalos grandes en la precipitación y altitud, sin embargo, son diferenciados a través del viento (vientos) y el vapor de agua (VAPA). Mientras tanto, el resto de los modelos regionales presentan diferencia en varias variables ambientales que ayudará a discriminarlos (figura 6.24 y tabla 6.23).

Tabla 5.8. Intervalos de VA para los modelos regionales (MR)

MR	Categoría	Altitud	Prec_A	TASA_A	VAPA_A	RadSol_A	1Prec_A	Tmín_A	Tmáx_A	Tprom_A	Vientos_A
1	Mín	8.38	0.14	22.32	1.09	13256.57	83.43	8.21	18.44	13.32	1.01
	Máx	372.05	0.28	32.13	2.99	18542.70	181.09	22.80	31.97	27.26	2.70
2	Mín	4.95	0.03	15.38	0.43	14127.35	12.94	-4.67	5.63	0.48	1.43
	Máx	540.05	0.39	31.86	2.71	17859.65	270.35	21.38	29.31	25.40	3.24
3	Mín	1.33	0.06	15.94	0.98	13454.92	58.50	6.78	16.37	11.57	1.34
	Máx	309.86	0.30	34.06	2.90	18993.61	167.26	23.04	31.41	27.05	5.28
4	Mín	6.00	0.15	17.27	1.27	12785.40	89.59	9.72	18.56	14.14	2.00
	Máx	106.09	0.26	24.56	2.99	18172.17	165.00	23.78	31.33	27.57	3.66
5	Mín	1.07	0.08	14.68	1.28	14227.09	43.69	9.20	19.26	15.28	1.16
	Máx	2381.00	0.19	25.52	1.96	18191.85	143.56	16.42	27.63	22.50	3.55
6	Mín	1.00	0.09	16.82	0.92	10590.45	52.70	5.58	13.15	9.37	0.94
	Máx	1574.69	0.25	30.88	2.30	18565.11	177.83	21.62	30.18	25.54	4.76
7	Min	36.42	0.11	17.22	0.92	10590.45	62.76	5.58	13.15	9.37	1.96
	Max	191.64	0.20	25.83	2.20	16307.36	140.94	19.68	26.63	23.16	3.18
8	Min	5.70	0.04	-1.00	0.72	12784.61	19.69	0.03	11.17	5.60	1.10
	Max	1292.50	0.27	29.73	2.81	18932.40	134.51	23.23	30.62	26.84	3.43
9	Min	1.71	0.01	23.56	0.95	12796.00	4.65	5.09	20.55	13.22	1.76
	Max	2572.00	0.27	37.85	2.91	20703.76	192.07	24.40	34.18	28.38	3.23

Simbología: Temperatura mínima (Tmín), temperatura promedio (TProm), temperatura máxima (Tmáx), Temperatura de superficie del cuerpo de agua (TASA), dirección del viento (Vientos), precipitación (Prec).

El sustento de los MR que se describieron en el último párrafo fue validado a través de la significancia de variables estadísticamente diferentes. El estadístico utilizado en este apartado permitió encontrar las variables que marcan diferencias de forma considerable¹⁹, de las cuales únicamente la altitud, no presenta resultados representativos para el presente estudio (tabla 5.8). Es decir, a partir del análisis de pertenencia de las VA por clústers el usuario tendrá la confiabilidad de la asociación representativa de VA por medio de las diferencias significativas ($p\text{-value} \leq 0.05$; figura 6.25; anexo XVI y XVII) y por lo tanto generar estimaciones de los SST.

¹⁹ Además de la utilización del P-value, también existen otros estudios basados en la curva ROC, donde se identifican umbrales representativos que tienden desde 0.6 hasta valores cercanos a uno (Manzanilla et al., 2021).

Tabla 5.9. Variables ambientales significativas por modelo regional.

Altitud										0	TASA_A										10	VAPA_A										14
M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M1		M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M1	M2		M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9				
M1	1									M1	1.00								M1	1												
M2	0.37	1								M2	0.41	1.00							M2	0.31	1											
M3	0.91	0.39	1							M3	0.45	0.99	1.00						M3	0.57	0.69	1										
M4	0.56	0.26	0.64	1						M4	0.00	0.04	0.06	1.00					M4	0.06	0.45	0.25	1									
M5	0.27	0.48	0.35	0.37	1					M5	0.00	0.01	0.01	0.51	1.00				M5	0	0	0	0.02	1								
M6	0.24	0.47	0.37	0.33	0.92	1				M6	0.01	0.19	0.22	0.38	0.13	1.00			M6	0	0.03	0.01	0.16	0.5	1							
M7	0.76	0.73	0.71	0.26	0.61	0.6	1			M7	0.00	0.09	0.13	0.93	0.67	0.42	1.00		M7	0	0.05	0.02	0.16	0.91	0.73	1						
M8	0.07	0.22	0.12	0.14	0.84	0.75	0.39	1		M8	0.00	0.01	0.01	0.20	0.35	0.06	0.37	1.00	M8	0	0	0	0.01	0.28	0.16	0.43	1					
M9	0.33	0.52	0.41	0.43	0.97	0.91	0.65	0.9	1	M9	0.02	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	M9	0.16	0.74	0.46	0.66	0	0.06	0.08	0					

RadSol_A										14	1Prec_A										5	Tmin_A										9
M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M1		M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M1	M2		M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9				
M1	1									M1	1								M1	1												
M2	0.31	1								M2	0.99	1							M2	0.08	1											
M3	0.57	0.69	1							M3	0.34	0.46	1						M3	0.89	0.1	1										
M4	0.06	0.45	0.25	1						M4	0.67	0.75	0.59	1					M4	0.06	0.9	0.05	1									
M5	0	0	0	0.02	1					M5	0.05	0.12	0.35	0.15	1				M5	0	0.28	0	0.11	1								
M6	0	0.03	0.01	0.16	0.5	1				M6	0.4	0.51	0.98	0.63	0.43	1			M6	0.04	0.99	0.04	0.88	0.16	1							
M7	0	0.05	0.02	0.16	0.91	0.73	1			M7	0.11	0.25	0.48	0.14	0.95	0.56	1		M7	0.01	0.41	0	0.21	0.78	0.26	1						
M8	0	0	0	0.01	0.28	0.16	0.43	1		M8	0	0.01	0.04	0	0.42	0.09	0.31	1	M8	0	0.09	0	0.04	0.2	0.05	0.55	1					
M9	0.16	0.74	0.46	0.66	0	0.06	0.08	0	1	M9	0.14	0.24	0.57	0.3	0.78	0.63	0.88	0.3	M9	0.65	0.23	0.58	0.2	0	0.15	0.03	0					

Tmáx_A										11	Tprom_A										10	Wind_A										7
M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M1		M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M1	M2		M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9				
M1	1									M1	1								M1	1												
M2	0.05	1								M2	0.06	1							M2	0.03	1											
M3	0.54	0.02	1							M3	0.71	0.05	1						M3	0	0.17	1										
M4	0.03	0.99	0.01	1						M4	0.04	0.94	0.02	1					M4	0	0.29	0.55	1									
M5	0	0.73	0	0.66	1					M5	0	0.47	0	0.31	1				M5	0	0.17	0.62	0.8	1								
M6	0.12	0.6	0.04	0.53	0.24	1				M6	0.07	0.79	0.04	0.81	0.19	1			M6	0.01	0.33	0.8	0.8	0.91	1							
M7	0	0.26	0	0.14	0.16	0.05	1			M7	0	0.33	0	0.17	0.38	0.12	1		M7	0	0.29	0.74	0.84	0.99	0.93	1						
M8	0	0.35	0	0.29	0.36	0.12	0.72	1		M8	0	0.19	0	0.11	0.27	0.08	0.91	1	M8	0.01	0.46	0.49	0.87	0.69	0.72	0.77	1					
M9	0.31	0.01	0.71	0	0	0.01	0	0	1	M9	0.8	0.06	0.91	0.03	0	0.05	0	0	M9	0.05	0.73	0.1	0.13	0.07	0.22	0.13	0.27					

Simbología: Temperatura mínima (Tmín), temperatura promedio (TProm), temperatura máxima (Tmáx), Temperatura de superficie del cuerpo de agua (TASA), dirección del viento (Vientos), precipitación (Prec).

Tabla 5.10. Longitudes de onda significativas por modelo regional.

B1									
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
M1	1.00								
M2	0.98	1.00							
M3	0.49	0.40	1.00						
M4	0.80	0.79	0.64	1.00					
M5	0.55	0.59	0.48	0.53	1.00				
M6	0.59	0.29	0.58	0.80	0.49	1.00			
M7	0.73	0.51	0.19	0.49	0.62	0.06	1.00		
M8	0.97	0.96	0.72	0.87	0.58	0.79	0.91	1.00	
M9	0.87	0.88	0.56	0.92	0.43	0.72	0.59	0.89	1.00
B2									
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
M1	1.00								
M2	0.90	1.00							
M3	0.32	0.24	1.00						
M4	0.79	0.85	0.55	1.00					
M5	0.11	0.08	0.02	0.08	1.00				
M6	0.73	0.49	0.17	0.97	0.04	1.00			
M7	0.81	0.57	0.16	0.63	0.15	0.34	1.00		
M8	0.93	0.98	0.68	0.94	0.25	0.95	0.85	1.00	
M9	0.83	0.77	0.34	0.67	0.21	0.65	0.96	0.81	1.00
B3									
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
M1	1.00								
M2	0.78	1.00							
M3	0.28	0.07	1.00						
M4	0.79	0.60	0.51	1.00					
M5	0.11	0.17	0.00	0.07	1.00				
M6	0.54	0.62	0.01	0.40	0.28	1.00			
M7	0.90	0.47	0.11	0.83	0.04	0.18	1.00		
M8	0.89	0.80	0.70	0.98	0.25	0.67	0.93	1.00	
M9	0.27	0.39	0.05	0.21	0.94	0.51	0.19	0.39	1.00
B4									
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
M1	1.00								
M2	0.61	1.00							
M3	0.37	0.10	1.00						
M4	0.57	0.25	0.74	1.00					
M5	0.64	0.11	0.18	0.56	1.00				
M6	0.90	0.56	0.11	0.38	0.33	1.00			
M7	0.49	0.14	0.67	0.98	0.41	0.20	1.00		
M8	0.75	0.55	0.83	0.96	0.81	0.69	0.95	1.00	
M9	0.43	0.83	0.08	0.15	0.06	0.44	0.10	0.36	1.00
B5									
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
M1	1.00								
M2	0.84	1.00							
M3	0.30	0.23	1.00						
M4	0.45	0.35	0.68	1.00					
M5	0.11	0.08	0.89	0.53	1.00				
M6	0.63	0.47	0.24	0.62	0.20	1.00			
M7	0.52	0.37	0.30	0.76	0.28	0.75	1.00		
M8	0.92	0.98	0.54	0.62	0.28	0.73	0.68	1.00	
M9	0.89	0.88	0.11	0.23	0.02	0.39	0.27	0.95	1.00
B6									
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
M1	1.00								
M2	0.43	1.00							
M3	0.14	0.05	1.00						
M4	0.53	0.80	0.14	1.00					
M5	0.86	0.11	0.00	0.27	1.00				
M6	0.37	0.92	0.04	0.72	0.07	1.00			
M7	0.42	0.85	0.00	0.86	0.11	0.72	1.00		
M8	0.69	0.74	0.29	0.86	0.59	0.68	0.76	1.00	
M9	0.85	0.18	0.01	0.37	0.94	0.12	0.17	0.67	1.00
B7									
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
M1	1.00								
M2	0.39	1.00							
M3	0.08	0.08	1.00						
M4	0.57	0.13	0.02	1.00					
M5	0.03	0.22	0.78	0.00	1.00				
M6	0.66	0.54	0.08	0.28	0.06	1.00			
M7	0.45	0.81	0.06	0.15	0.13	0.68	1.00		
M8	0.90	0.54	0.26	0.80	0.10	0.69	0.56	1.00	
M9	0.86	0.15	0.01	0.55	0.00	0.41	0.20	0.96	1.00
TSS									
	Combinaciones								
M1	B1,B3,B5								
M2	B3,B4,B5								
M3	B1,B6								
M4	B1,B4,B6								
M5	B1,B4								
M6	B3,B5								
M7	LNB1,LNB2,LNB4								
M8	B1,B2,B4 No se pueden modelar (utilizado para validación)								
M9									

Simbología: B1 (0.43-0.45), B2 (0.45-0.51), B3 (0.53-0.59), B4 (0.64-0.67), B5 (0.85-0.88), B6 (1.57-1.65), B7 (2.11-2.29) y SST(mg/L).

5.6.1 Selección de modelo regional con variables ambientales cuerpo de agua

Las diferencias significativas fueron graficadas a través de la estandarización de las variables ambientales. Por ejemplo, el MR1 y MR3 presentan diferencias en la radiación solar y en la altitud favoreciendo la caracterización de los sitios (figura 5.11) y en relación con el resto de los modelos regionales son diferentes las VA con base en el promedio de ellas. Sin embargo, a fin de presentar valores estadísticos se obtuvo la significancia entre VA y modelo regional. Lo anterior para que el autor pueda seleccionar un modelo que pueda ser aplicable en otro cuerpo de agua.

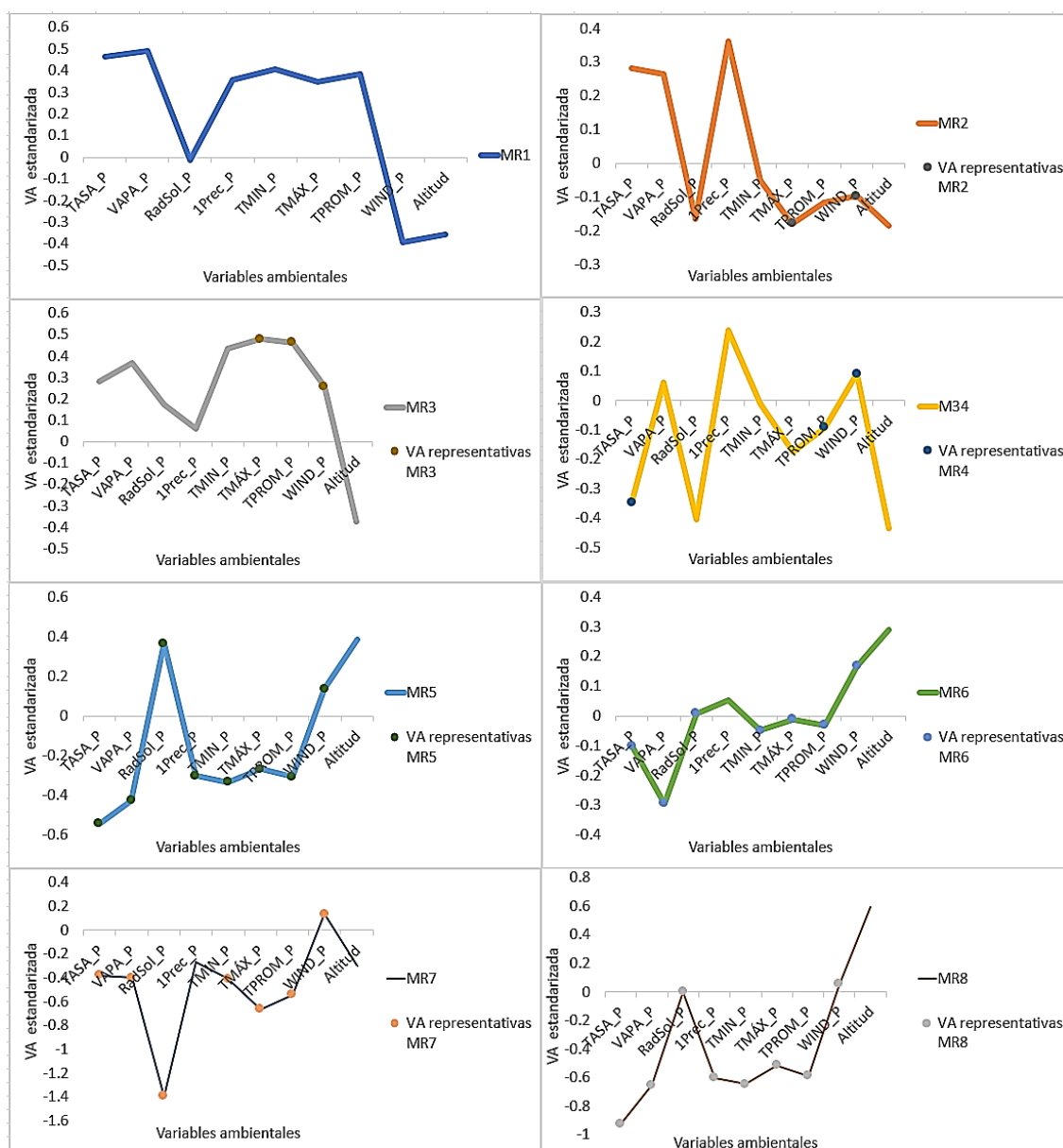


Figura 5.11. Comportamiento de intervalos de VA por modelo regional.

De manera complementaria, se explica la forma en la que el usuario deberá de utilizar este apartado para la selección del modelo regional a utilizar. En primera instancia el usuario debe tener a la mano los datos de

las variables ambientales de la Tmín, Tmáx, Tprom, vientos (wind), RadSol, prec, altitud, TASA y VAPA. En segunda instancia el usuario identificará a través de la firma ambiental y espectral a que región se asocia los datos del cuerpo de agua a estudiar (figura 6.12 a-b). Por último, revisar las tablas de validación para aplicar el modelo correspondiente, así como revisar las limitaciones de estas.

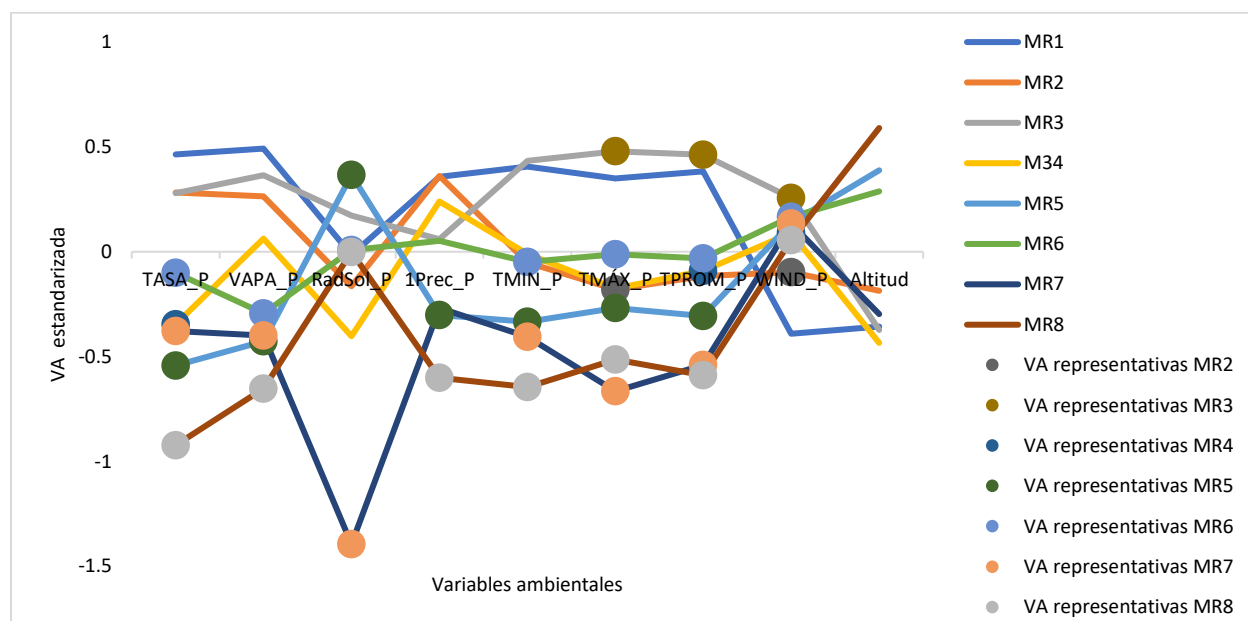


Figura 5.12. Firma ambiental y firma espectral por modelo regional y significancias de diferencias entre ellas.

5.6.2 Tarjetas de validación por modelo regional

En las siguientes tablas se presentan los elementos esenciales que caracteriza a cada modelo regional. La caracterización está enfocada en la capacidad explicativa del modelo, distribución espacial de los CA, condiciones ambientales del sitio, ecuación de modelo y estadísticas de la región (limitaciones y alcances de los modelos).

5.6.2.1 Modelos regional 1

El modelo regional 1 se encuentra compuesta por 7 CA (figura 5.13a), en donde predomina modelos polinómicos y únicamente dos modelos exponenciales. Además de lo anterior el MR 1, los cuerpos de agua que lo integran se encuentran distribuidos en la longitud de 70-78° E aproximadamente y entre 10-15° de latitud norte, de los cuales la mayoría de los CA son lóticos y la superficie promedio de los CA es de 6000 ha, ubicados en relieve diverso lo que lo identifica como cuerpos de aguas con regiones micro climáticas provocando que las variables ambientales tengan dispersión entre ellas que convergen de forma paralela en la región homogénea. La modelación fue jerarquizada a través de 2 segmentos de regresión (calibrada con 5 iteraciones aleatorias; tabla 5.7 y anexo XIV.1). En la figura 5.13c se observa el comportamiento de la nube de puntos de los segmentos de las regresiones. En general el modelo subestima en promedio con 100

mg/L las concentraciones de 500 a 600 mg/L (figura 5.14). El modelo tiene en el primer segmento una $R^2=0.87$ y un RMSE de 42.3 mg/L y en el segundo segmento únicamente una $R^2=0.47$ debido a que corresponde a un grupo de concentraciones bajas de SST (0-11 mg/L) obtenidos de modelos exponenciales. Sin embargo, considerando la estimación hasta los 700 mg/L la dispersión se encuentra en un intervalo esperado. Las limitaciones de esta región homogénea corresponden a lo mencionado anteriormente, es decir, en la aplicación de cuerpos de agua con concentraciones cercanas a los 0 mg/L la modelación puede estar sesgada debido al intervalo con la que trabaja, y como principal ventaja corresponde a su aplicación en cuerpos de agua que pueden tener distintos umbrales de concentración de los SST. En relación con la caracterización ambiental este modelo presenta complejidad elevada ya que no se obtuvieron datos representativos en las VA propuestas en el presente estudio con base en el sentido físico de las concentraciones de SST (figura 5.14g).

Los segmentos del MR1 constan de 3 variables independientes de forma polinomial cada una de ellas, en el primer segmento está integrada la B3 y la B5 (y su concomitante con Sentinel 2A). Estas bandas son determinantes en los SST como lo sugiere la bibliografía de *remote sensing*, sobre todo en la banda 5 que integra el primer segmento, y que es la banda sugerida por diversos autores (Aiman et al., 2014; Cheng et al., 2018; Tu et al., 2018; Chang et al., 2015) para la determinación de los sólidos suspendidos totales. El segundo segmento corresponde a la banda azul (B1 en relación Landsat 8 OLI y Sentinel 2A). Esta región homogénea esta integrada por cuerpos de agua con cercanía al mar, solo el Poyang Lake, China se encuentra más alejado del mar (más de 200 km lejano del mar). Por lo tanto, de manera general esta región homogénea es recomendable de ser considerada en las estimaciones de SST en cuerpos de agua cercanos al mar a pesar de que no presentar alguna variable ambiental significativamente diferente al resto de los modelos. En relación con los valores pronosticados y los reales del segmento A, en la mayoría de los datos se mantiene paralelo a los datos reales únicamente en el intervalo de 300 a 500 mg/L se presenta los puntos con mayor error en el modelo y en el segmento B la disparidad de los errores se presentan valores pronosticado con 35 mg/L, ya que en la realidad corresponde a 15 mg/l. Sin embargo, como se mencionó anteriormente considerando el umbral de este MR, se encuentra en un intervalo esperado (figura 5.13).

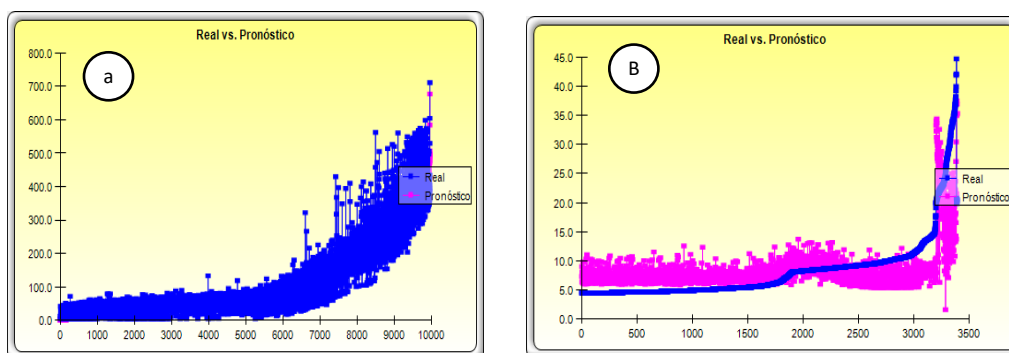


Figura 5.13. Valores reales y pronosticado del MR.

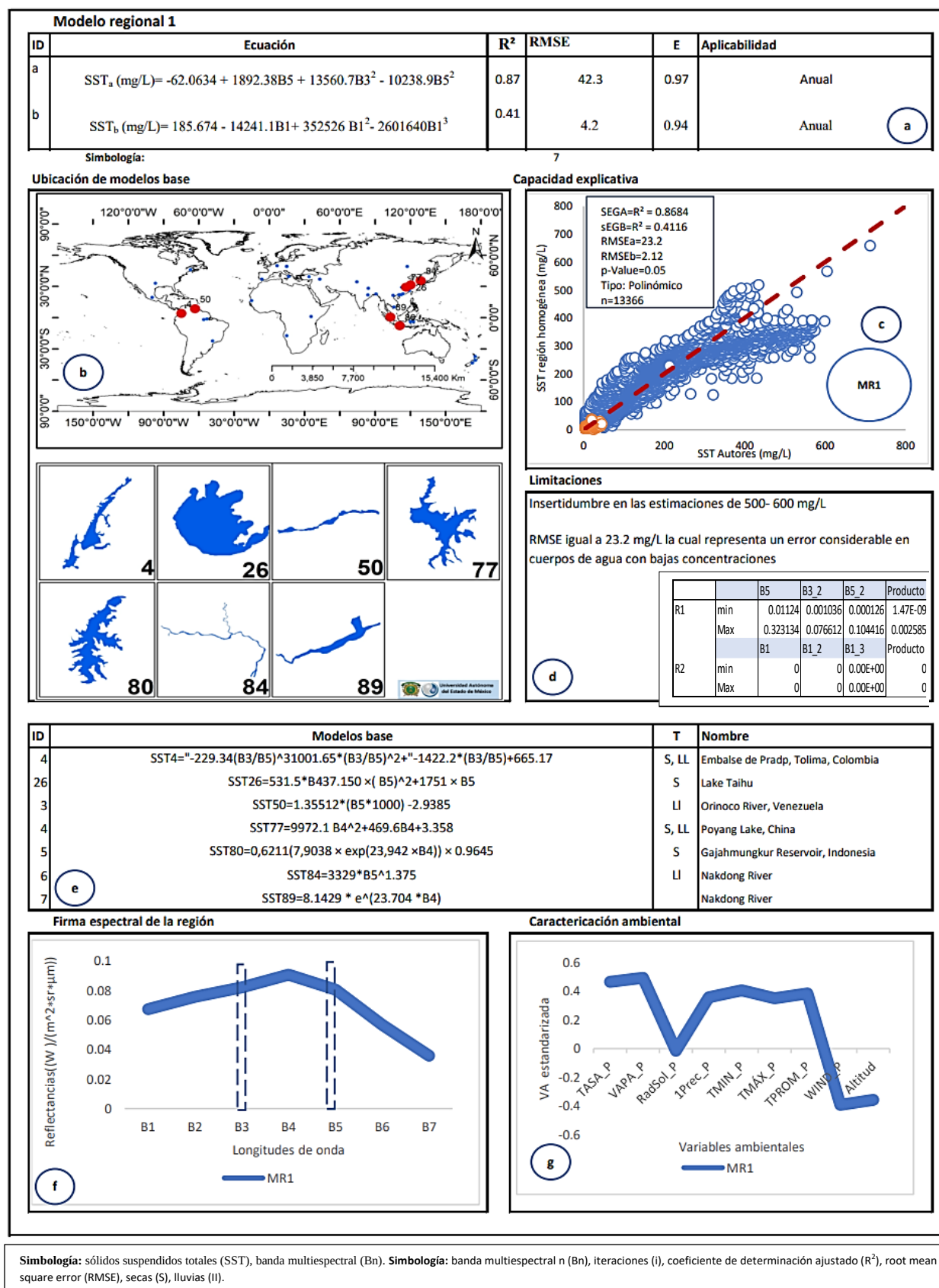


Figura 5.14. Tabla de identificación del modelo regional 1.

5.6.2.2 Modelos regional 2

El modelo regional 2 está compuesto por 6 CA (figura 5.16e), en donde predomina modelos lineales y únicamente dos modelos exponenciales. El ajuste de la modelación considera una regresión integradora con 3 variables regresoras que fueron calibrada con 5 iteraciones aleatorias (anexo 6.1). En los valores de 0 a 150 mg/L el modelo regional sobreestima drásticamente, únicamente en el intervalo de 80 a 150 mg/L es donde dificulta el intervalo de confianza de las estimaciones (figura 5.16c). Considerando los puntos anteriores, se recomienda que en estudios posteriores se analice el tipo de firma espectral que presenta estos punto, así como la mensualidad estudiada de los modelos. Lo anterior para disminuir el cuidado en el uso del modelo bajo estas condiciones.

Lo anterior se debe a que este modelo presenta una evaluación de datos de entrada que no cumplen con todas las pruebas estadísticas, de forma específica no cumple con la significancia y con altos pixeles atípicos. Además de lo anterior la dispersión de los datos (figura 5.16) en el intervalo de 0-200 mg/L existe un 12.3 % de los datos que sobre estima drásticamente a las concentraciones de SST (estos datos en su mayoría corresponden al CA=77) lo cual dificulta el ajuste del modelo. Las variables regresoras que componen este MR corresponde a la B3, B4 y a la B5 de forma cuadrática y la B4 es la que mejor determina la concentración de SST. En cuanto a las variables significativamente diferentes del modelo regional 2 corresponden a la TMax y la velocidad del viento. Los alcances obtenidos de este modelo corresponden a una capacidad explicativa del modelo de $R^2=0.92$ y un RMSE=14.2 mg/L obtenido a través de una muestra estratificada de 16425. Dicho muestreo estratificado corresponde a la integración de 3 cuerpos de agua bajo el sistema lótico y dos en el sistema léntico ubicados en la longitud 110-130 E, es decir estos cuerpos de agua se encuentran cercanos entre si (zona China y Asia). En relación con las valores pronosticados y los reales, en la mayoría de los datos se mantiene paralelo a los datos reales, únicamente en los valores cercanos a 200 mg/L se presenta los puntos con mayor error en el modelo (cercano a 250 mg/L de error). Sin embargo, son equilibrados con el resto de los muestreos considerados en el modelo (figura 5.15).

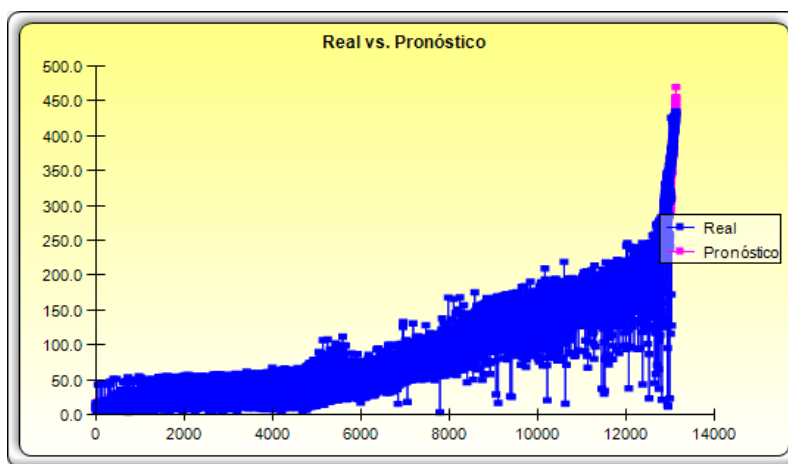


Figura 5.15. Valores reales y pronosticado del MR.

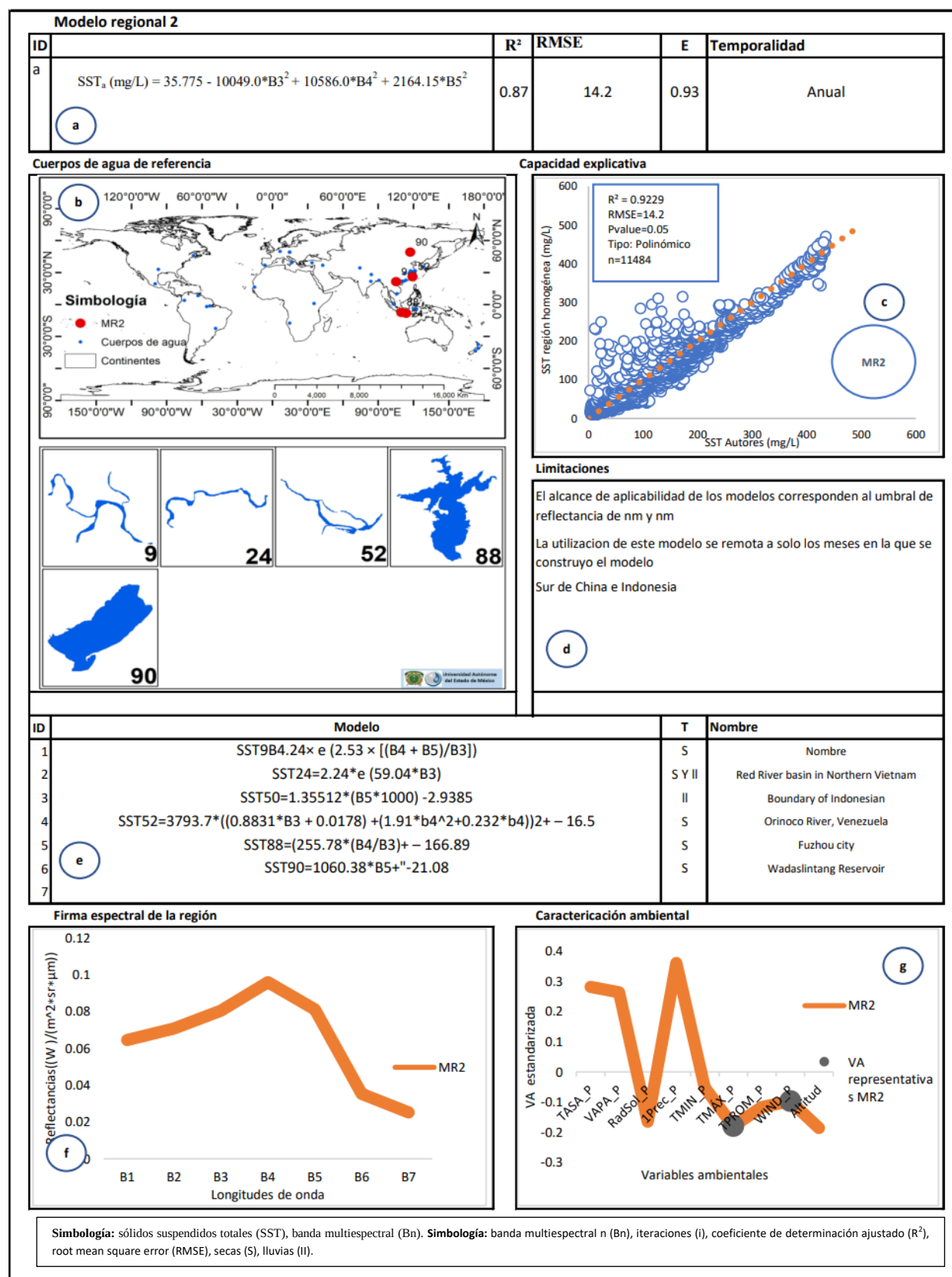


Figura 5.16. Tabla de identificación del modelo regional 2.

5.6.2.3 Modelos regional 3

La región homogénea 3 (MR3) está compuesta por 5 CA (figura 5.18e), en donde existen modelos lineales y únicamente un modelo lineal transformado. El ajuste de la modelación es obtenido a través de 2 variables regresoras del modelo $B5^2$, y $B1^2$ de forma cuadrática de los cuales la B1 es la que determina la concentración de SST ya que presenta un coeficiente mayor en comparación con la segunda variable regresora. Este MR presenta cuerpos de agua en su mayoría lóticos, únicamente la Presa Do Brazil se encuentra en el tipo lótico. Dichos cuerpos de agua presentan superficies considerables con más de 65 ha la cual representa un 15% de la escena de las imágenes utilizadas. La capacidad explicativa del MR3 es de 0.93, sin embargo, en cuanto a la raíz del error cuadrático medio es de 15.7 mg/L; la cual bajo el umbral de 0 a 100 mg/L, es un error alto de acuerdo con aportes de estudios previos (Chang et al., 2015; Bui-Dinh, 2016; Pham et al., 2018; Zhao et al., 2020; Wang., 2017; Nurdin et al., 2019; Nguyen et al., 2020; Cheng Tu et al., 2018; S/N, 2020; Cahyono et al., 2019; Nurgiantoro et al., 2019). La nube de puntos presenta valores atípicos de forma diferenciada por cuerpo de agua (figura 5.18c) ya que la construcción del MR3 modeló las estimaciones de SST de tal manera que las estimaciones más altas (disparidad considerable) fueron calibradas para que las estimaciones de SST sean los más cercanos a la realidad.

El CA 15 es subestimado hasta 10.2 mg/L (figura 5.18) ya que en las estimaciones del autor obtiene valores que van desde 3.05 mg/L hasta 18 mg/L mientras que en el modelo únicamente predice entre 7.8 y 14 mg/L. Es importante mencionar que el modelo fue calibrado con 5 iteraciones aleatorias y con ello permite observar que el comportamiento de la nube de puntos está centrado para cuerpos de agua con bajas concentraciones de SST (0-100 mg/L), una de las deficiencias de esta región no cumple con la regla de homocedasticidad de los datos por lo tanto se sugiere analizar y hacer las transformaciones necesarias a las variables regresoras que la componen. Lo anterior es observable en la nube de puntos, sobre todo en el intervalo de los 20-30 mg/L ya que no cuenta con muestreos en esta zona mientras que el resto de la línea de comparación si se encuentran datos analizados. Las variables ambientales significativas de este MR corresponden únicamente a vientos, TPROM y TMIN (figura 5.18g). A manera de comprobación de los valores disparados de cada modelo se presenta la gráfica del comportamiento de los valores pronosticados y los reales, en donde observa los incrementos de SST en alguno puntos (figura 5.17).

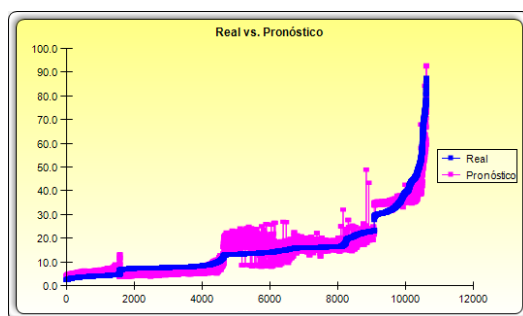


Figura 5.17. Valores reales y pronosticado del MR.

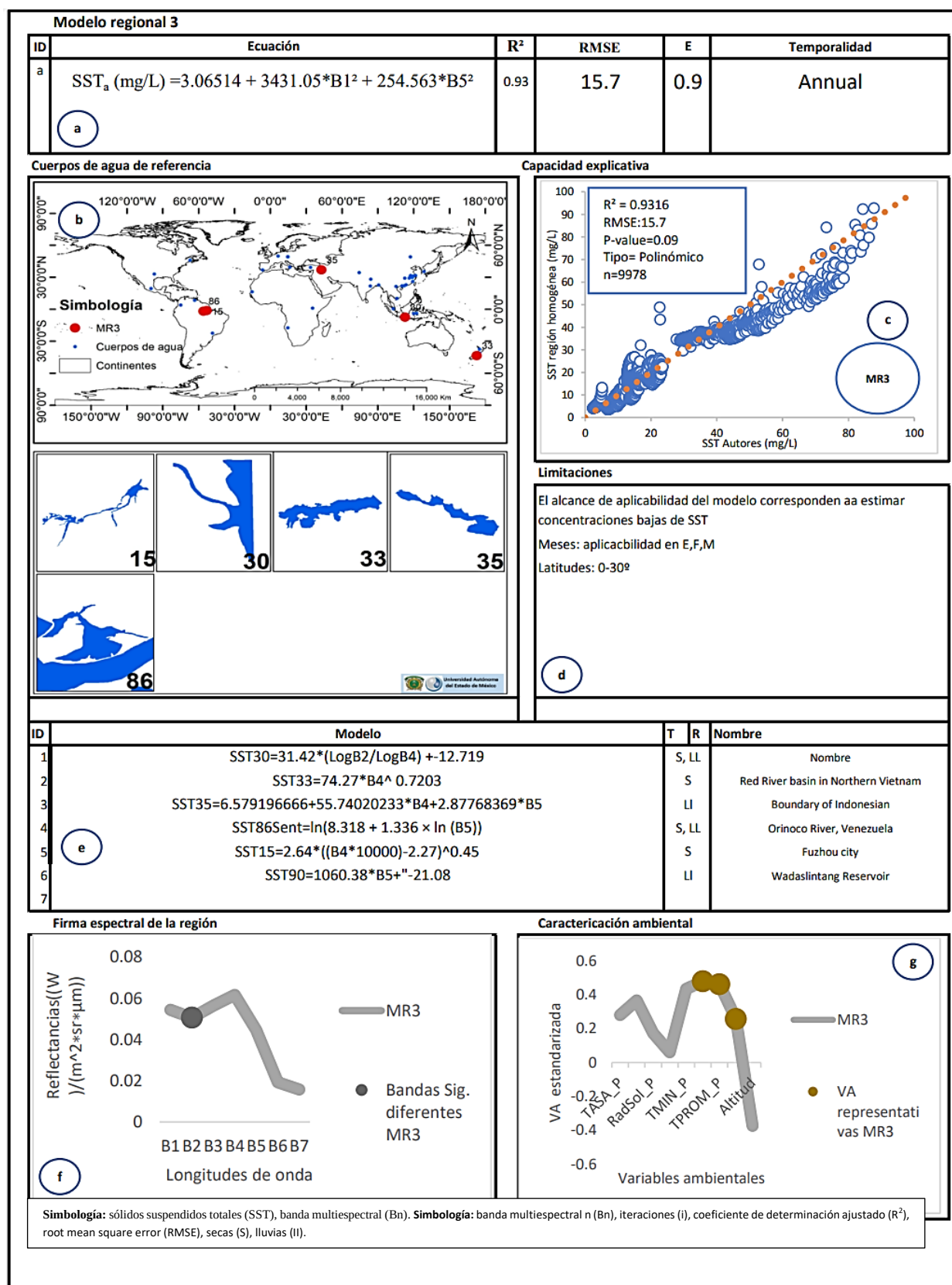


Figura 5.18. Tabla de identificación del modelo regional 3.

5.6.2.4 Modelos regional 4

Esta región se encuentra compuesta por 4 CA (figura 5.20e), en donde se encuentran 3 modelos lineales y 1 potencial basadas en una sola regresión. La capacidad explicativa ajustada del modelo regional es de $R^2=0.89$ calibrada con 5 iteraciones en la validación cruzada (anexo 6.5). Los puntos críticos del modelo regional 4 se encuentra en los valores cercanos de 20 mg/L y 420 mg/L ya que existen dos secciones de la nube de puntos, de las cuales una de ellas sobreestima de manera significativa las bajas concentraciones de SST (figura 5.20c). En cuanto a las pruebas estadísticas el modelo cumple en las pruebas utilizadas en el presente estudio. El modelo regional consta de 3 variables regresoras de los cuales la $B5^2$ es la que presenta mayor peso en la determinación de los SST ya que presenta un coeficiente de mayor valor (16586.7).

Los CA que lo componen corresponden al sistema léntico y se encuentran cercano a las zonas de costas en las longitudes de 120 a 150 E. A nivel de estadística este modelo cumple con la mayoría de las pruebas sometidas, únicamente en la prueba de p-value se encuentra por encima del 0.05 en la variable independiente de LNB1. Las VA significativas en este modelo corresponden a la TASA, TMÁX, TPROM y vientos. Uno de los puntos favorables de este modelo corresponde a estimaciones en concentraciones cercanas a los 1000 mg/L de sólidos suspendidos totales (figura 6.20). Los puntos críticos sobresalientes de este modelo corresponden al grupo de CA (ID=41) ya que en el intervalo de 0-40 mg/L sobre estima la concentración de los SST, así mismo en el intervalo de 570-600 mg/L se observan muestras que subestiman el contaminante. Las limitantes que presenta el MR corresponde a cuerpos de agua que presentan concentraciones mayores a 600 mg/L ya que el modelo podría sobreestimar las concentraciones, aunque en mínima cantidad (figura 5.20). En este intervalo se encuentran reflectancias altas en la longitud de onda de 490 nm, por lo tanto, se recomienda a los usuarios utilizar este modelo de forma cuidadosa. En relación con las valores pronosticados y los reales, en la mayoría de los datos se mantiene paralelo a los datos reales únicamente en los valores de 400-420 mg/L se presenta los puntos con mayor error en el modelo, ya que las estimaciones llegan hasta valores cercanos a los 1200 mg/L y son equilibrados con el resto de los muestreos considerados en el modelo (figura 5.19).

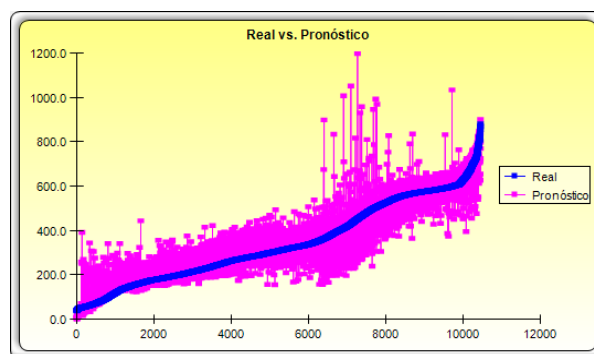


Figura 5.19. Valores reales y pronosticado del MR.

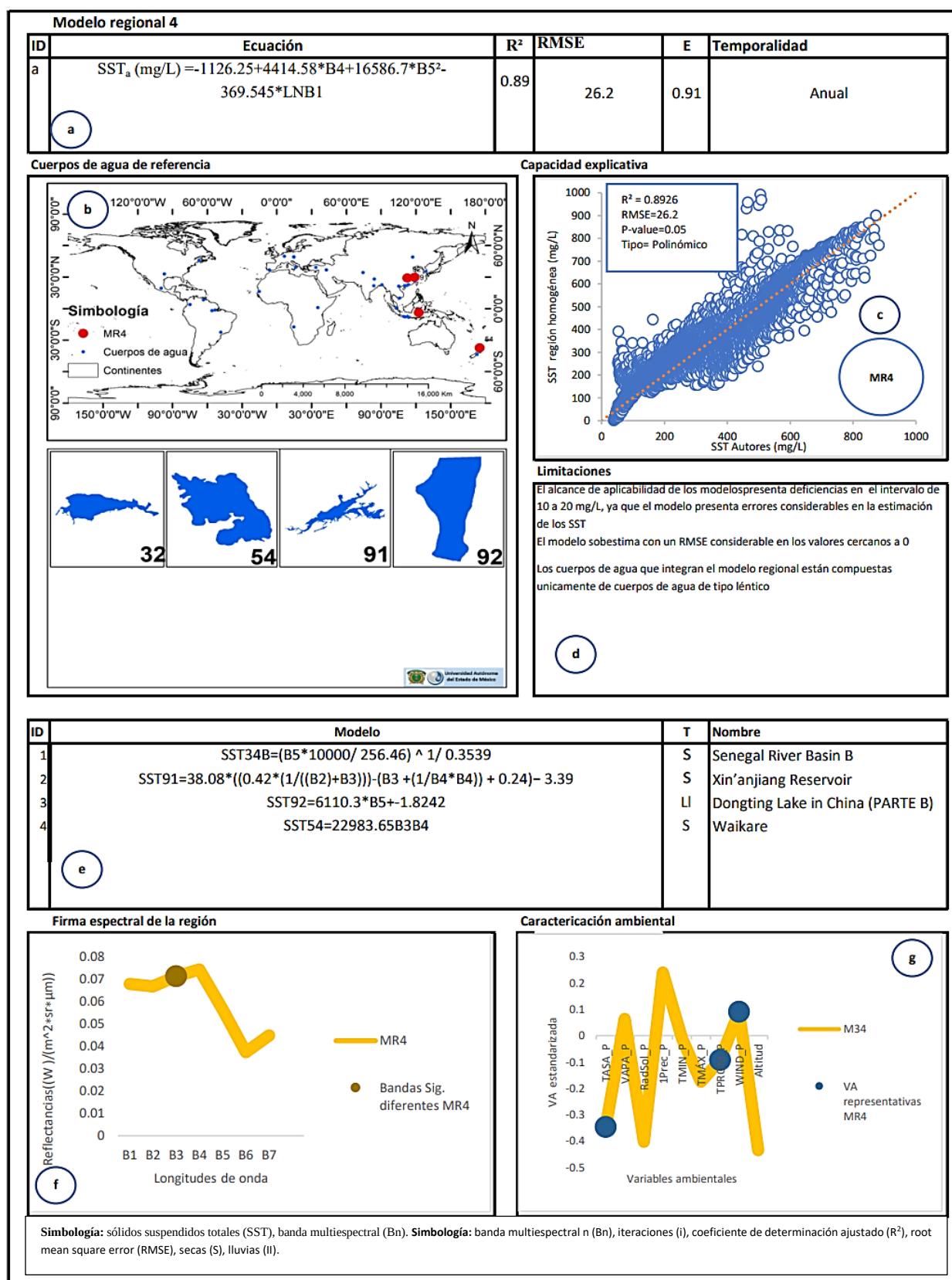


Figura 5.20. Tabla de identificación del modelo regional 4

5.6.2.5 Modelos regional 5

Esta región se encuentra compuesta por 4 CA (figura 5.22e), cuyas concentraciones de SST se encuentran por debajo de los 250 mg/L y la aglomeración de muestras se encuentran en concentraciones a lo largo de la gráfica de correlación, aportando confianza en la modelación por parte del modelo regional (figura 5.22c). La capacidad explicativa ajustada de esta región es adecuada ya que arroja un valor de $R^2=0.79$ y fue calibrado con 5 iteraciones (anexo XIV). En la figura 5.22, se observa el comportamiento de la nube de puntos de los segmentos de las regresiones, de forma general el modelo sobrestima las concentraciones de SST (en promedio con 50 mg/L). A nivel de pruebas estadísticas este modelo cumple con las pruebas sometidas y estos CA presentan la característica esencial de compartir un rango de latitud similar (21° N y S). Sin embargo, el modelo presenta las limitantes de incertidumbre en las estimaciones correspondiente al intervalo de 200-250 mg/L ya que presenta dispersión en la nube de puntos subestimando las concentraciones de SST. El modelo se encuentra integrado por tres variables regresoras (B6, LnB3 y B5*B2) y es influenciada mayormente por la B5*B2 bajo el producto de ellas. Las limitantes del MR5 corresponde a la confiabilidad en concentraciones con la que fue calibrada el modelo (0-200 mg/L) ya que el error del modelo es considerable en relación con concentraciones bajas de SST). Un punto crítico de la región homogénea 6 es la utilización de la B6, ya que existe mínima bibliografía que sugiere la utilización de la banda 6 en la construcción de modelos para la determinación de los SST. Únicamente Kavurmacı et al. (2013) han utilizado esta Banda para le modelamiento de los SST (obtuvo modelos con $R^2 \geq 0.6$) por lo tanto se recomienda que para estudios posteriores se analice este modelo y el sentido físico en relación con la banda 6. En relación con los valores pronosticados y los reales, en la mayoría de los datos se mantiene paralelo a los datos reales únicamente algunos valores alcanzan errores elevados, ya que las estimaciones llegan hasta valores cercanos a los 1200 mg/L y son equilibrados con el resto de los muestreos considerados en el modelo (figura 5.21).

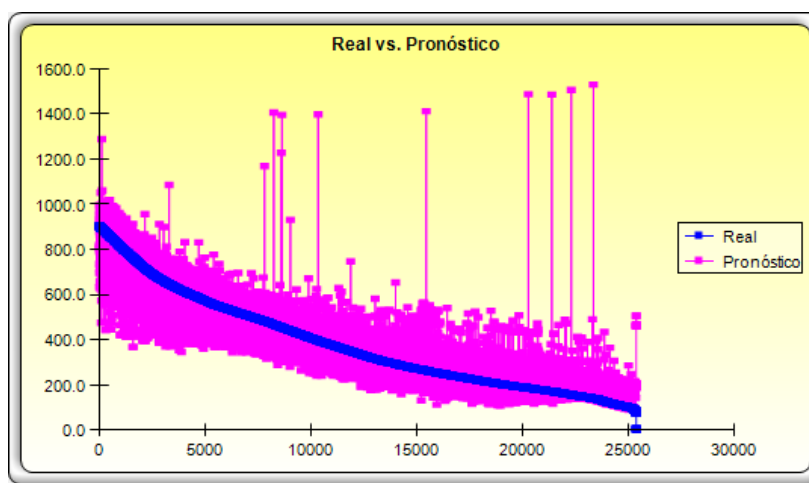


Figura 5.21. Valores reales y pronosticado del MR.

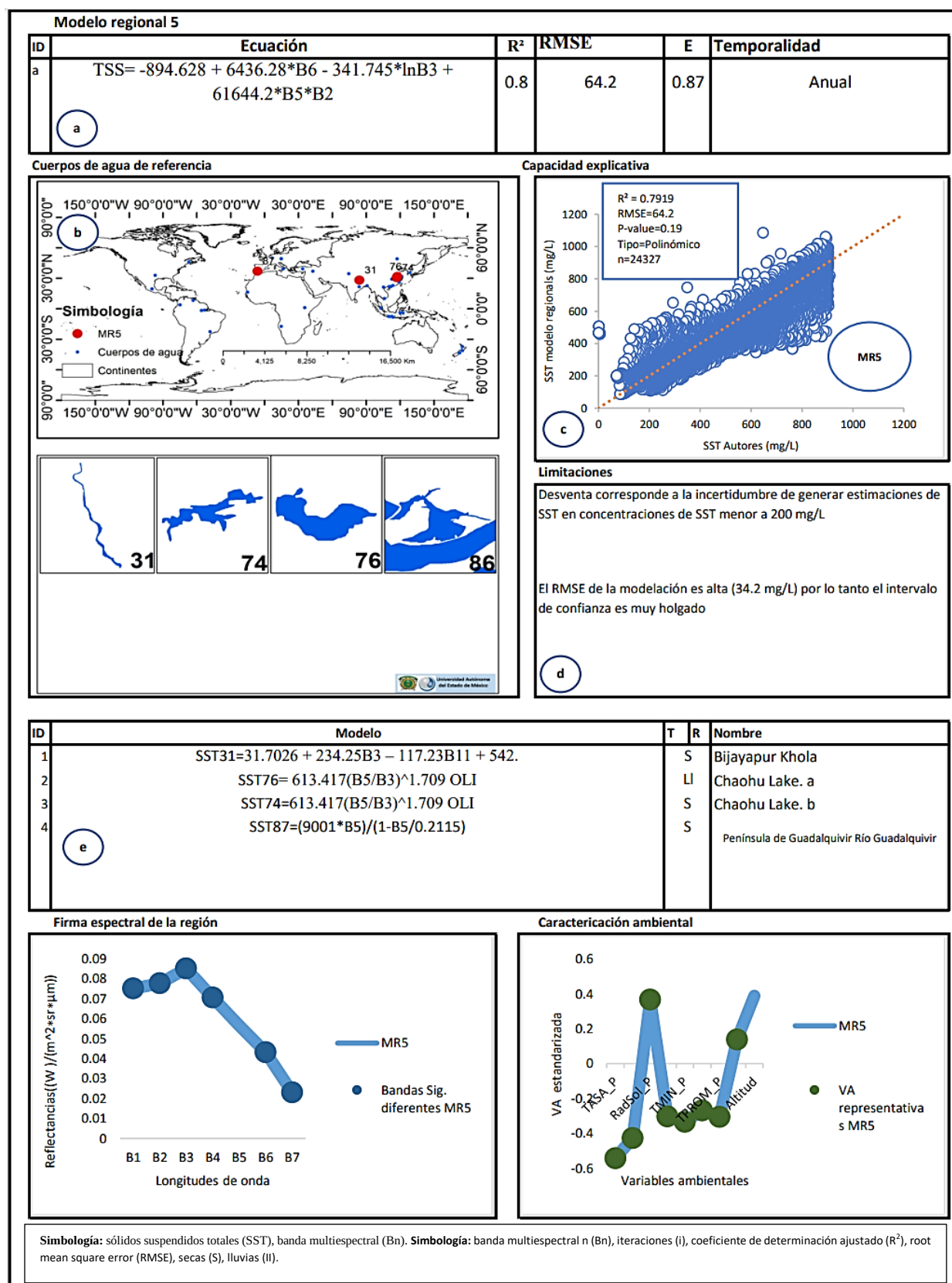


Figura 5.22. Tabla de identificación del modelo regional 5

5.6.2.6 Modelos regional 6

Esta región se encuentra compuesta por 4 CA (figura 5.24e), en donde predomina modelos simples. Los cuerpos de aguas que integran el modelo 3 se encuentran en el continente europeo y uno en la región de Oceanía. El modelo fue calibrado bajo 5 iteraciones aleatoria (anexo XIV), sin embargo, la modelación de los datos el modelo regional 6 presenta la nube de puntos con una capacidad explicativa de 0.92 la cual indica que las estimaciones son adecuadas como se puede ver en la nube de puntos entre las concentraciones medidas y estimadas, ya que no se aleja de la línea de tendencia. La nube de puntos que integra el MR6 presenta una $n=13020$, la cual lo hace una muestra pequeña a diferencia del resto de modelos regionales, sin embargo, la muestra es representativa debido al tamaño de superficie que presentan los cuerpos de aguas (en promedio de 127 ha).

Los modelos de los autores corresponden a uno exponencial, 2 lineales y un polinómico. Las VA representativas para este MR corresponde a $T_{m\acute{a}x}$, $T_{m\acute{i}n}$ y en relación con las reflectancias la B2 Y B6 son las significativamente diferente y para el caso de la altitud no son significativas en los modelos regionales (figura 5.2). De los CA que comprenden este modelo regional, 3 corresponden al sistema lótico y 1 corresponde al sistema léntico, al igual que el MR5 está calibrado para concentraciones aproximadamente de 200 mg/L. A nivel de gráfica se observa que las variables regresoras está integrada por B_4 , B_4^2 y B_5^2 , pero con limitaciones en generar estimaciones en bajas concentraciones de SST. Los valores pronosticados y los reales, en la mayoría de los datos se mantiene paralelo a los datos reales únicamente algunos valores alcanzan errores elevados, ya que las estimaciones llegan hasta valores cercanos a los 1200 mg/L y son equilibrados con el resto de los muestreos considerados en el modelo (figura 5.23).

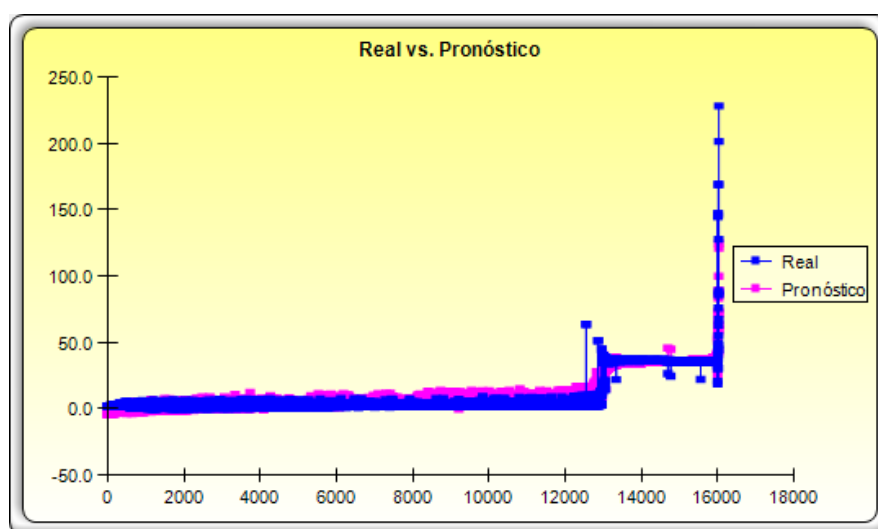


Figura 5.23. Valores reales y pronosticado del MR.

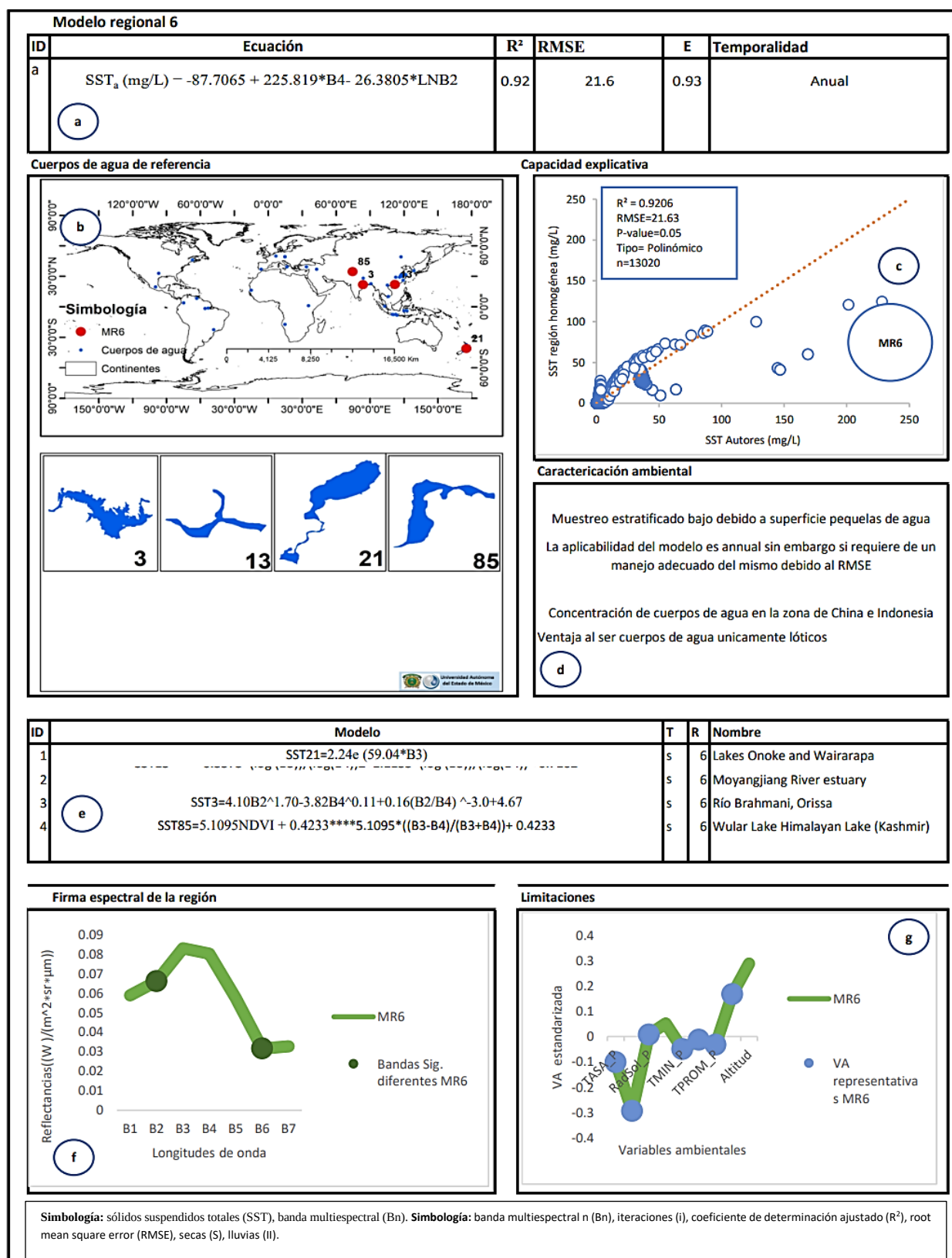


Figura 5.24. Tabla de identificación del modelo regional 6

5.6.2.7 Modelos regional 7

Los resultados obtenidos para la región homogénea 7, presenta una capacidad explicativa ajustada adecuada ($R^2=0.91$) pero a través de diversas transformaciones de las variables que componen el modelo, en la prueba de homocedasticidad la prueba de White cumple con la estadística, pero con un valor bajo ($W\text{-p-value}=11.07 > V_{\text{crit}}=12.07$). Otras características críticas de la región homogénea 7 corresponde a la transformación de los datos ya que fue necesario la conversión a logaritmo neperiano para una mejor capacidad explicativa ajustada. En el intervalo de LnSST de 2-4 el comportamiento de la nube de puntos se encuentra con una dispersión elevada, además poseer aglomeraciones en diversas secciones dificultando la varianza de dispersión de los errores. En relación con el RMSE de 0.9 mg/L provoca que las estimaciones de SST se encuentren con incertidumbre cuando se evalúa en regiones donde la nube de puntos se encuentra con mayor dispersión (figura 5.26).

El modelo regional también presenta pruebas estadísticas de significancia adecuada pero la homocedasticidad no cumple con los valores críticos recomendados, y debido a que $R^2=0.91$ es bajo, las estimaciones generadas presentan dispersión, la cual lo hace el modelo con menor capacidad explicativa. Las VA representativas para este modelo corresponde a TASA, VAPA, RadSol, TMIN, TMAX, TPROM y vientos. Los cuerpos de agua se encuentran distribuidos de manera equitativa a nivel espacial ya que un cuerpo de agua se encuentra en España, China, y corresponde a CA con concentraciones de $\text{LnSST} = -2.47$ y 2.64 debido a la complejidad este modelo se debe de utilizar como herramienta secundaria en los cuerpos de agua a fines de tomar decisiones en ellas. En la comparación de los valores pronosticados y reales se mantiene de forma paralela entre ambos. Sin embargo, si existe una fracción de $\text{Ln}1.0$ A $\text{Ln}0.9$ que presentan una mínima cantidad de puntos con error considerable, ya que las estimaciones llegan hasta $-\text{Ln}0.5$ (figura 5.25). Este dato se ve marcado en la figura 5.26c, donde un punto sobre sale de la correlación de las concentraciones estimadas y medidas en campo.

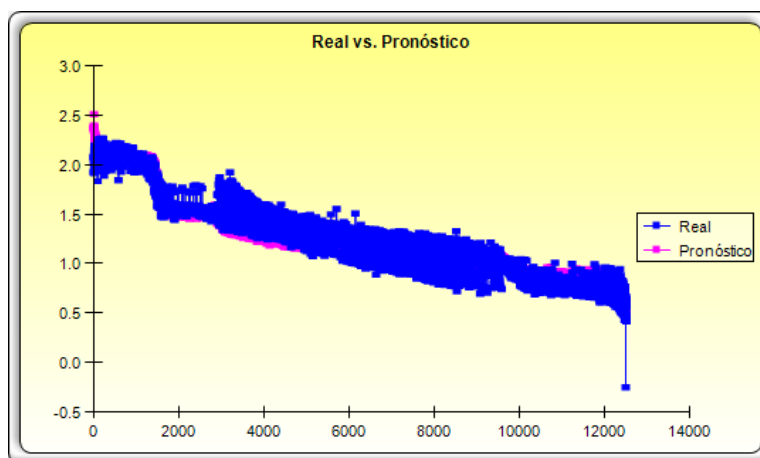


Figura 5.25. Valores reales y pronosticado del MR.

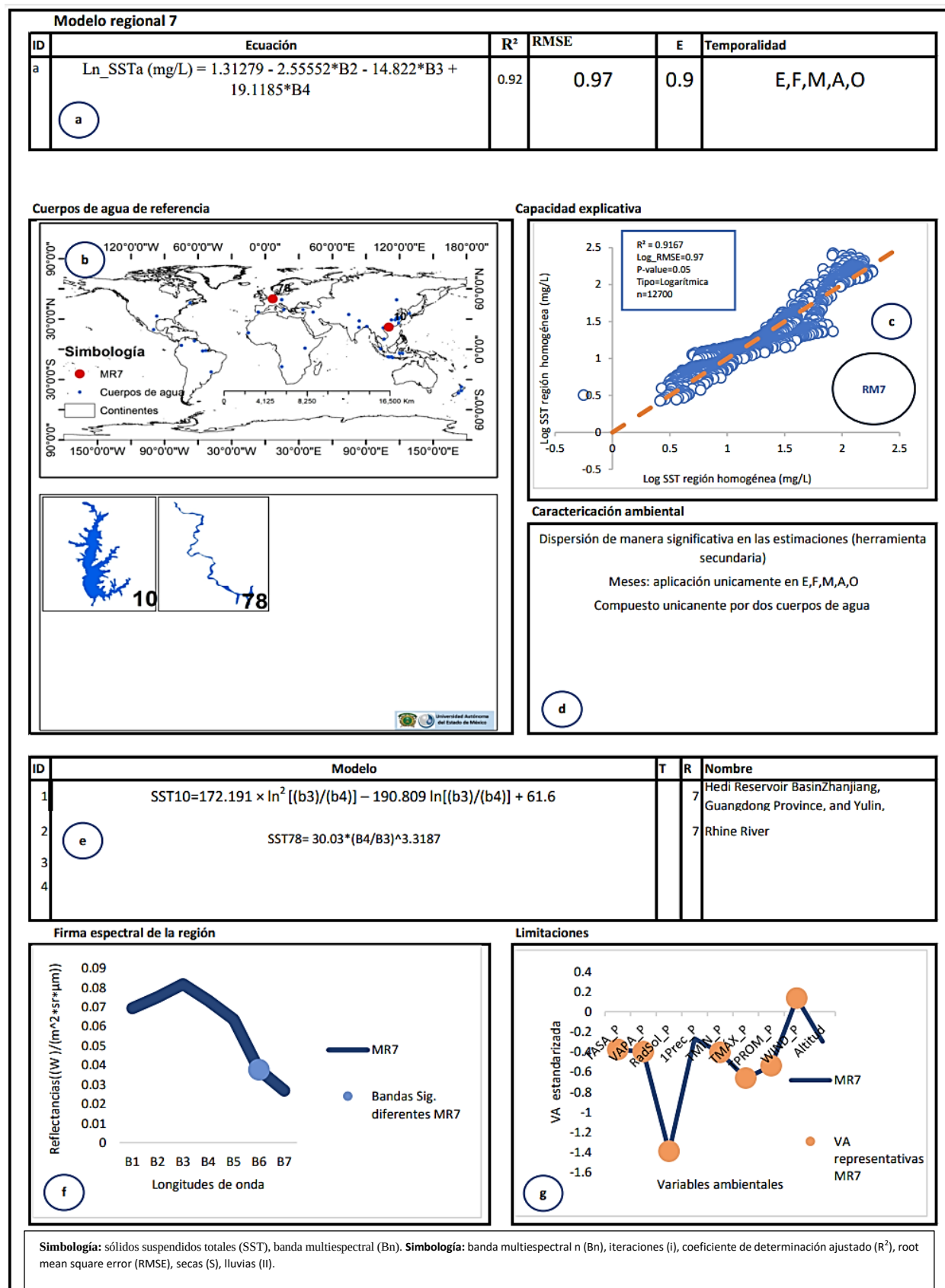


Figura 5.26. Tabla de identificación del modelo regional 7

5.6.2.8 Modelos regional 8

El modelo regional 8 se encuentra dividido en dos segmentos debido a la naturaleza de los modelos que lo integran, el primer segmento presenta un coeficiente de determinación $R^2=0.93$ y el segundo segmento con $R^2=0.71$ y ambos modelos cumplen con la mayoría de los estadísticos propuestos, únicamente el segmento B no cumple con la homocedasticidad de acuerdo con la prueba w - p -value=0.91 ya que en las concentraciones entre 0 a 20 mg/L sobreestima las concentraciones de SST. El RMSE del segmento B se encuentra en 16.9 mg/L, la cual es drástica para las concentraciones por debajo de los 10 mg/L como se puede ver en la figura 5.28. En las concentraciones de 50 a 400 mg/L la nube de puntos fue modelada de forma adecuada ya que la mayoría como se muestra en la nube de puntos y en el gráfico de errores obtenidos de los datos. Este modelo regional es comprendido a través de la B3 y B4, de los cuales la banda 3 es la que determina la mayor cantidad de los SST por los coeficientes que presenta como variable regresora. El supuesto anterior también se fundamenta en los aportes de las diversas bibliografías Chang et al., 2015; Bui-Dinh, 2016; Pham et al., 2018; Zhao et al., 2020; Wang., 2017).

Este modelo fue integrado a partir de 3 CA de tipo lótico y 1 de tipo léntico, en total se consideró una muestra estratificada de $n=11264$ debido a las dimensiones que presentan los cuerpos de agua utilizados (cuerpos de agua con cercanía costera). Dentro de las limitaciones que presenta el MR corresponde a la confiabilidad en el segmento B, ya que en los valores cercanos a los 35 mg/L el modelo subestima drásticamente a las concentraciones de los SST (figura 5.28c). Por lo tanto, en estudios posteriores se recomienda analizar las reflectancias que presenta el cuerpo de agua a estudiar. Las concentraciones de SST pronosticados y los reales se comportan de forma paralela a los estimados. Una de las características de este modelo regional es que la mayoría de los puntos permanecen en la línea de tendencia, solo una cantidad menor a 17 muestras son las que son sobreestimadas o subestimadas en el modelo (figura 5.27).

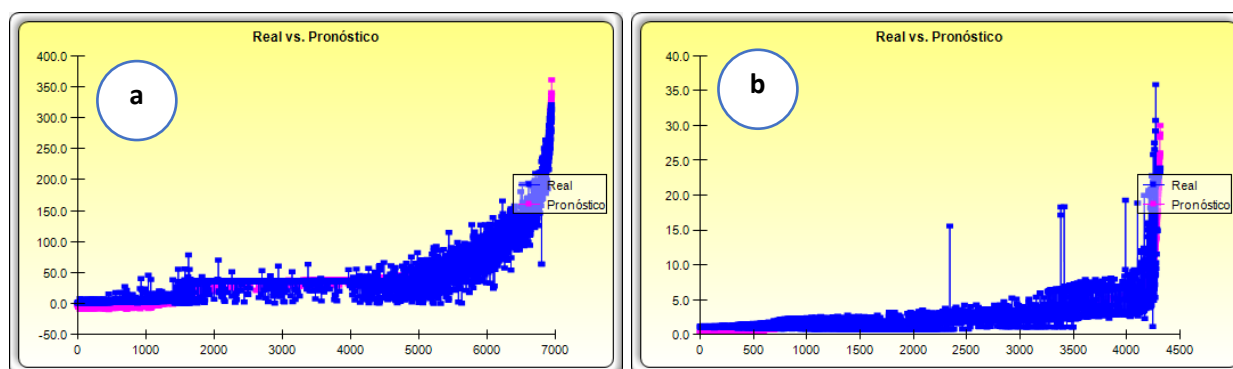


Figura 5.27. Valores reales y pronosticado del MR.

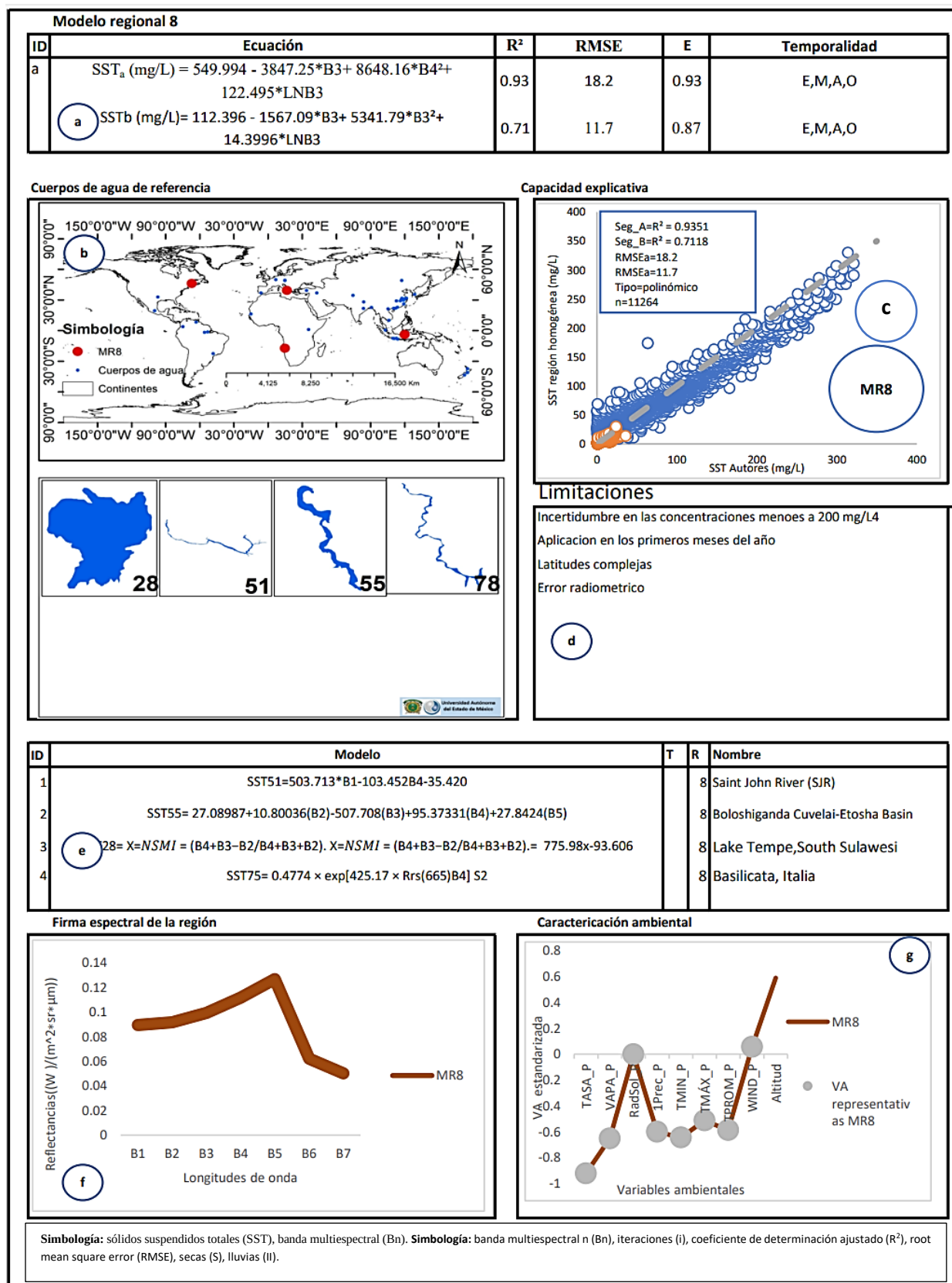


Figura 5.28. Cuerpos de agua que integran la región homogénea 8.

Los promedios de las concentraciones de SST estimados por los modelos regionales y medidos por los modelos de los autores fueron graficados para su comparación a nivel espacial (figura 5.29), así como las diferencias obtenidas del modelo del autor en relación con cada modelo regional., se puede observar que el 71% de los CA presentan medias adecuadas ya que la diferencia es de $\bar{X}_{mín}=10 \text{ mg/L}$, $\bar{X}_{máx} = 23 \text{ mg/L}$ sin embargo, para el 21% (10, 74, 34, 91, 92, 54, 9, 24, 50) debe de aplicarse el modelo de forma cuidadosa ya que en la nube de puntos las muestras se encuentran de forma dispersa y sus medias que presentan disparidad entre los medidos vs los estimados. Lo anterior es causado por el intervalo de medición con la que se calibraron los modelos. Los cuerpos de agua con menor concentración de SST se encuentran distribuidos con cercanía a zonas costeras del continente europeo, Italia, Alemania, La India (85,3,15,75,86). El intervalo de concentraciones de SST en estos cuerpos de agua se encuentra por debajo de los 5 mg/L, por lo tanto, estos cuerpos de agua presentan una dilución de los sólidos suspendidos totales y se encuentran dentro de un mismo clústers que favorece a la modelación de cuerpos de aguas con bajas concentraciones de SST (MR6). El cuerpo de agua 86 es el único que pertenece a otro clúster debido a la configuración del modelo del autor y a los meses con la que fue calibrado el modelo.

Uno de los puntos críticos de la distribución espacial de los cuerpos de agua es que el continente latinoamericano presenta menor cantidad de cuerpos de agua en el presente estudio, al igual que la zona de África. A pesar del número de cuerpos de aguas, las estadísticas obtenidas en este estudio son representativas, sin embargo, en las estimaciones de SST, aun se recomienda realizar pruebas de validación ya que, en este estudio, aún existen puertas para ser investigadas como son el comportamiento de las estimaciones a nivel mensual .

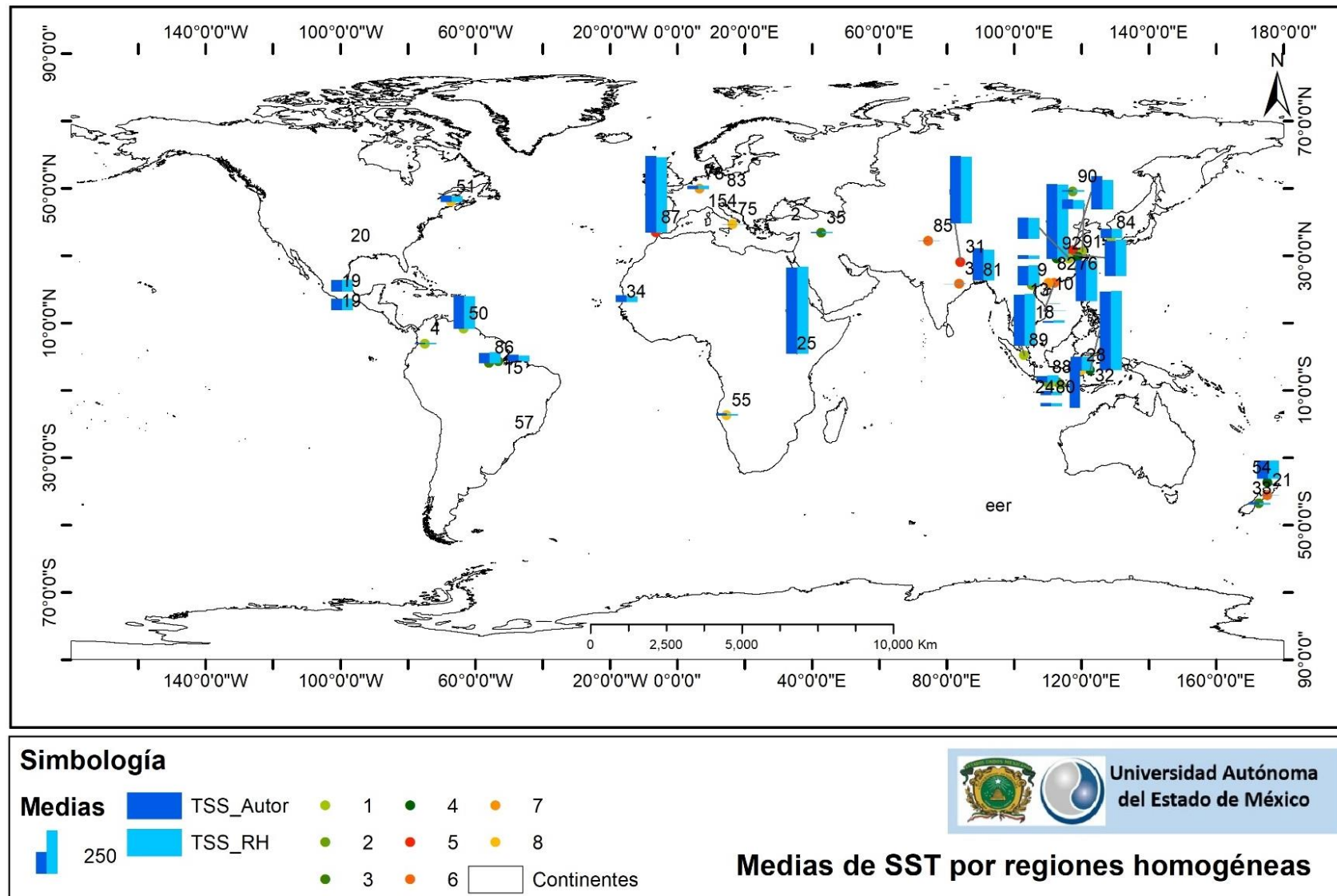


Figura 5.29. Valores medios de los cuerpos de agua a través de modelos de regresión diseñados por autores vs obtenidos por modelo regional.

5.7 Pruebas del modelo a través de otros sitios

Las pruebas aplicadas a los modelos regionales fueron realizadas en los cuerpos de agua correspondiente al grupo 9, ya que, a través de las pruebas estadísticas no lograron incluirse y también con muestreos georreferenciados por algunos estudios. Los estudios correspondientes a esta condición son mostrados en la tabla 5.11 (Presa álzate, México [$ID = 19$] Mekong River – Mekong, Coastal Ujung Pangkah [$ID = 18$], Senegal River Basin [$ID = 34$], Lake Dongting [$ID = 81$], Delta in Vietnam [$ID = 82$], Rio Brasilia-Sao Paulo [$ID = 152$], Coastal Ujung Pangkah Gresik, [$ID = 156$] y Senegal River Basin [$ID = 157$]). Mientras tanto, para los estudios que aportan muestreos georreferenciados se encuentran Hirfarli, Dam [$ID = 2$], Chebara Dam (segmento b) [$ID = 25b$], Lake Whangape Dam segmento b [$ID = 54b$], Boloshiganda Cuvelai-Etosha Basin (segmento B) [$ID = 55b$], Indonesia Lake [$ID = 3$].

Estos cuerpos de agua fueron caracterizados en función de variables ambientales de forma estandarizada para identificar a que modelo se asoció (figura 5.30). La asociación de los cuerpos de agua con los modelos regionales quedó de la siguiente forma el CA=55b, asignado al MR1, los CA=81, 82 al MR2, los CA=2, 54b,3,157 al MR3, CA=25b,157 al MR4 y los =18,19,156 al MR5. Para los estudios que aportan muestreo en campo se presentan a manera de tablas en el anexo XIX en la cual se plasma la reflectancia obtenida en las bandas espectrales de la imagen utilizada concomitantes con la fecha de muestreo, así como el valor calculado de los sólidos suspendidos totales obtenidos en laboratorio. A partir de lo anterior se realizó la comparación de las predicciones por regiones y estimados por los autores (figuras 5.31-5.32, anexo XX). El número de muestras utilizadas por los cuerpos de aguas de prueba corresponden a un tamaño representativas para los cuerpos de agua del grupo 9. Sin embargo, para los cuerpos de agua con muestreo georreferenciados, asociados con el [$ID = 2$], [$ID = 25b$] y [$ID = 3$] presentan muestreos ≤ 30 muestras por lo tanto las estimaciones generados con el modelo regional, no necesariamente pueden presentar un bajo coeficiente de determinación con los medidos, ya que el umbral del RMSE está por debajo a lo obtenido en el modelo regional (debido a la nube de puntos con baja cantidad de muestreo en campo). No obstante, en los resultados estimados en estos cuerpos de agua se deben de manejar con cautela para la toma de decisiones en temáticas hidrológicas.

A) Intervalos		MR	Categoría	Altitud	Prec_A	TASA_A	VAPA_A	RadSol_A	1Prec_A	Tmín_A	Tmáx_A	Tprom_A	Vientos_A
		1	Mín	8.38	0.14	22.32	1.09	13256.57	83.43	8.21	18.44	13.32	1.01
			Máx	372.05	0.28	32.13	2.99	18542.7	181.09	22.8	31.97	27.26	2.7
		2	Mín	4.95	0.03	15.38	0.43	14127.35	12.94	-4.67	5.63	0.48	1.43
			Máx	540.05	0.39	31.86	2.71	17859.65	270.35	21.38	29.31	25.4	3.24
		3	Mín	1.33	0.06	15.94	0.98	13454.92	58.5	6.78	16.37	11.57	1.34
			Máx	309.86	0.3	34.06	2.9	18993.61	167.26	23.04	31.41	27.05	5.28
		4	Mín	6	0.15	17.27	1.27	12785.4	89.59	9.72	18.56	14.14	2
			Máx	106.09	0.26	24.56	2.99	18172.17	165	23.78	31.33	27.57	3.66
		5	Mín	1.07	0.08	14.68	1.28	14227.09	43.69	9.2	19.26	15.28	1.16
			Máx	2381	0.19	25.52	1.96	18191.85	143.56	16.42	27.63	22.5	3.55
		6	Mín	1	0.09	16.82	0.92	10590.45	52.7	5.58	13.15	9.37	0.94
			Máx	1574.69	0.25	30.88	2.3	18565.11	177.83	21.62	30.18	25.54	4.76
		7	Min	36.42	0.11	17.22	0.92	10590.45	62.76	5.58	13.15	9.37	1.96
			Max	191.64	0.2	25.83	2.2	16307.36	140.94	19.68	26.63	23.16	3.18
		8	Min	5.7	0.04	-1	0.72	12784.61	19.69	0.03	11.17	5.6	1.1
			Max	1292.5	0.27	29.73	2.81	18932.4	134.51	23.23	30.62	26.84	3.43

Nota: con base en los intervalos sugeridos se anotó en que modelo pertenecen los cuerpos de agua de prueba como lo muestra la Sección B

B) Asociación													
	CA	MR	Categoría	Altitud	Prec_A	TASA_A	VAPA_A	RadSol_A	1Prec_A	Tmín_A	Tmáx_A	Tprom_A	Vientos_A
Muestras	55b	1	Prom	340	0.16	25.13	1.36	14210	123	12.32	24.71	19.41	2.01
Modelo	82	2	Prom	312	0.09	27.12	0.41	16235.1	301.02	16.14	21.13	21.04	2.03
Modelo	81	2	Prom	412.03	0.34	26.23	2.71	12659.65	256.12	20.14	32.1	2408	2.94
Muestras	2	3	Prom	294.23	0.05	16.325	1.94	15789.3	69.23	23.12	27.12	14.28	3.21
Muestras	54b	3	Prom	223.12	0.11	28.36	2.11	16236.1	125.32	21.02	25.12	11.23	4.02
Modelo	3	3	Prom	256.32	0.2	18.23	1.45	16589.2	75.21	16.235	28.36	19.26	2.87
Modelo	157	3	Prom	256.14	0.21	31.02	1.87	16897.2	312.2	26.56	26.17	10.98	3.71
Muestras	25b	4	Prom	5.69	0.21	22.36	2.01	15698.23	98.26	19.68	29.68	24.56	3.41
Modelo	157	4	Prom	541	0.17	27.03	3.14	17658.38	188.3	21.06	29.26	24.9	2.99
Modelo	19	5	Prom	1569	0.24	21.23	1.88	17658.24	186.37	16.57	22.01	17.35	1.12
Modelo	18	7	Prom	359	0.14	21.36	2.01	18236.2	112.23	17.36	24.09	22.23	2.18
Modelo	156	7	Prom	191.64	0.157	21.36	0.11	89.236	312.23	18.9	24.69	22.69	2.99
Modelo	34	2	Prom	378	0.06	29.12	0.38	16789.1	298.07	18.14	31.1	29.02	2.01

Figura 5.30. Selección de modelo regional de los cuerpos de agua de prueba.

Tabla 5.11. Cuerpos de agua con modelos considerados para la prueba de modelos regionales.

ID	Nombre	Sensor	Tamaño de muestra (n)	Superficie (ha)	Modelo	Tipo de regresión	Evaluación	Otros estadísticos	Muestra	Referencia
19	Presa. J. A. Alzate, México	L8	14	160	$SST (mg/L) = -72.7941 + 1695.6659 * B3 + 36.5896 * (B3/B5) + 51578.9958 * B3^2 + 143.8716 * (B3/B5)^2 - 6246.6175 * ((B3) * (B3/B5))$	Polinomial múltiple Lineal múltiple	$\bar{R}^2 = 0.9855$ $\bar{R}^2 = 0.6125$		M	Cruz, 2019
18	Mekong River – Mekong Delta in VietNam	S2 ^a	32 modelo 10 temp=42	1950000	b) SST (19/8/2019) = 1309x2 – 778.4x + 150.81, $R^2 = 0.83$ $X = NSMI = (B4 + B3 - B2) / (B4 + B3 + B2)$	Polinómica	$R^2 = 0.92$, $R^2 = 0.83$			Nguyen et al., 2020
156	Coastal Ujung Pangkah Gresik	L8	20	214.7	SST (mg/l) = 637.52*B4 – 7.8454	Lineal (varios tipos)	$R^2 = 0.883$		M	(Wibisana et al., 2018)
157	Senegal River Basin	L8	13 sitios de análisis	50	$B5 = 256.46 \times TSS \wedge (0.3539) \text{ g/m}^3$ $TSS = 256.46 * B5 \wedge 0.3539$	potencial	$R^2 = 0.91$	RMSE=389.2, BIAS=-27.9		Faye et al., 2020
81	lower Hugli estuary, West Bengal, India	L8 y Sentinel 2A	40 48	255	$SST = 2652.5 * (\text{Band 8 (NIR)})$ $SST = 11.80 - 50.608 * B2 + 14.58 * B5 - 4.764 * (B5/B3)$	Lineal	$R^2 = 0.7075$			(Kanga, Meraj, Das, Farooq, & Chaudhuri, 2020)
82	Lake Dongting (segmento B)		5 campañas con máximo de N = 116 por campaña		SPM–N2 = 32.61 exp (0.48x)	Exponencial				(Xue, y otros, 2020)
152	Brasilia, Sao Paolo	L8	45	20	$SST = 274555 * (B4)^2 - 150.78 * B4 + 2.17$	Polinomico	$R^2 = 0.89$			(Bernardo et al., 2017)

Simbología: coeficiente de determinación (R^2), coeficiente de determinación ajustado ($\bar{R}^2$). MultiSpectra Imageri (MSI), suspended particulars matters (SPM), Error estándar estimado (SE), sensor Landsat 8 OLI (L8), sensor Sentinel 2 (S2).

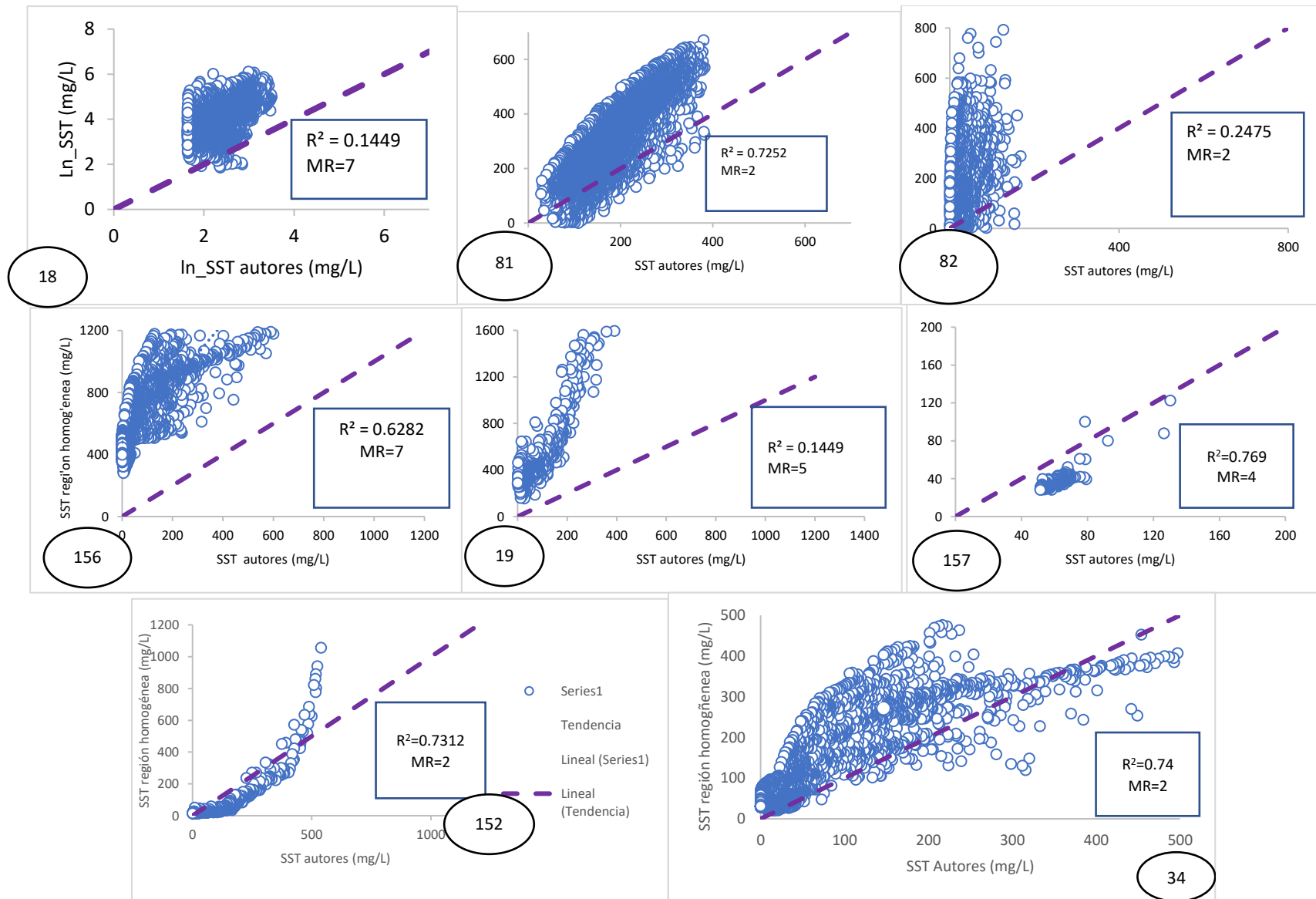


Figura 5.31. Comparación entre valores medidos por los autores y estimados con los modelos regionales con VA similares a través de comparación de modelos de regresión.

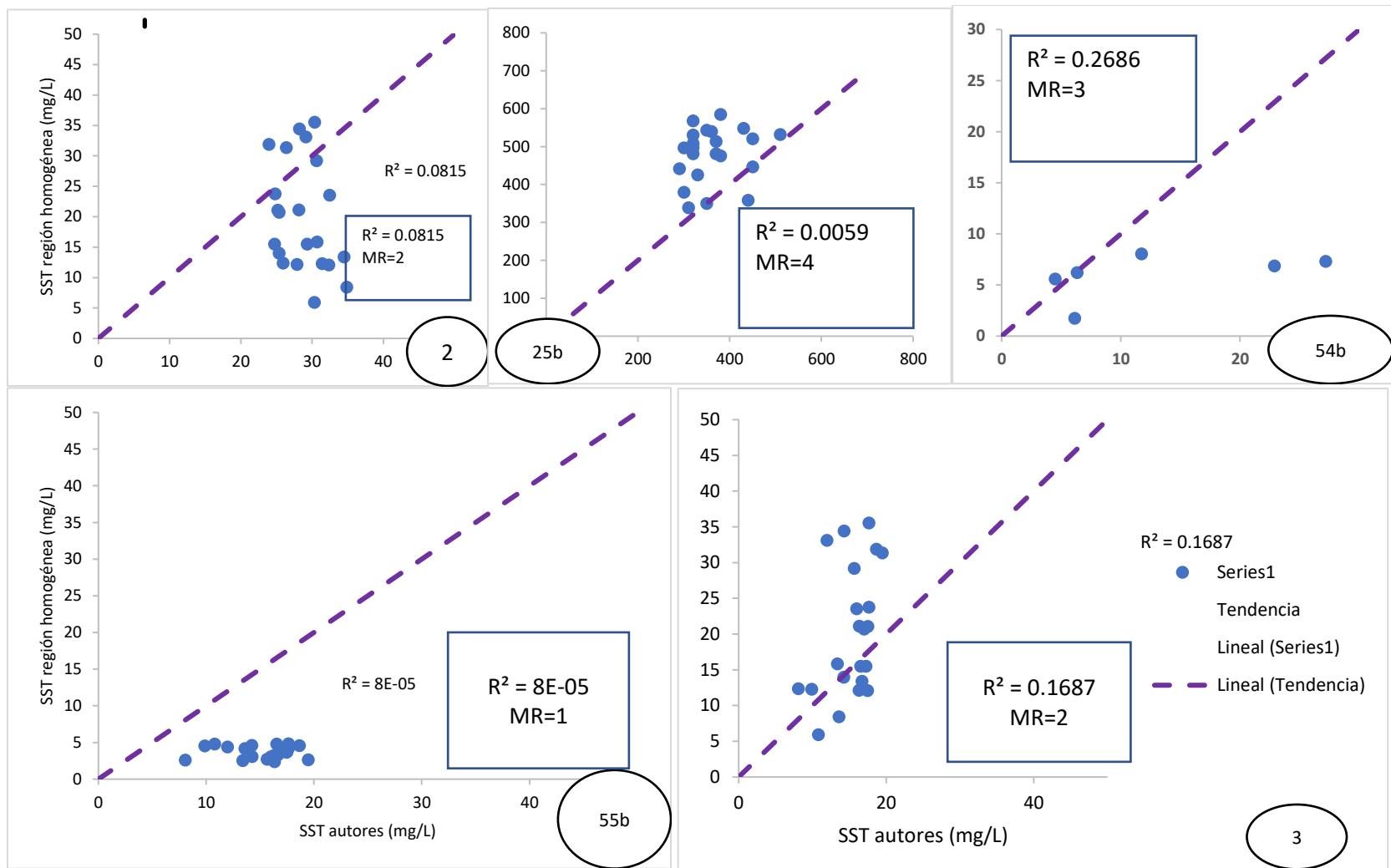


Figura 5.32. Comparación entre valores predichos por la región homogénea y un CA con VA similares utilizando muestreos georreferenciados.

En total se realizaron 13 pruebas en cuerpos de aguas, 8 con CA que cuentan con modelos que han sido desarrollados por diversos autores (tabla 5.11) y muestreos georreferenciados (anexo XIX). A partir de lo anterior se obtuvo como resultado que el 61.5% de los cuerpos de agua presentaron un R^2 por debajo de 0.6 que es lo recomendable para el estudio de los SST (sin embargo, se debe considerar que algunos de estos cuerpos de agua corresponden al grupo 9 que no pudieron ser modelados en el análisis de clústers (*Hierarchical Clusters Analysis* por técnica de Ward)).

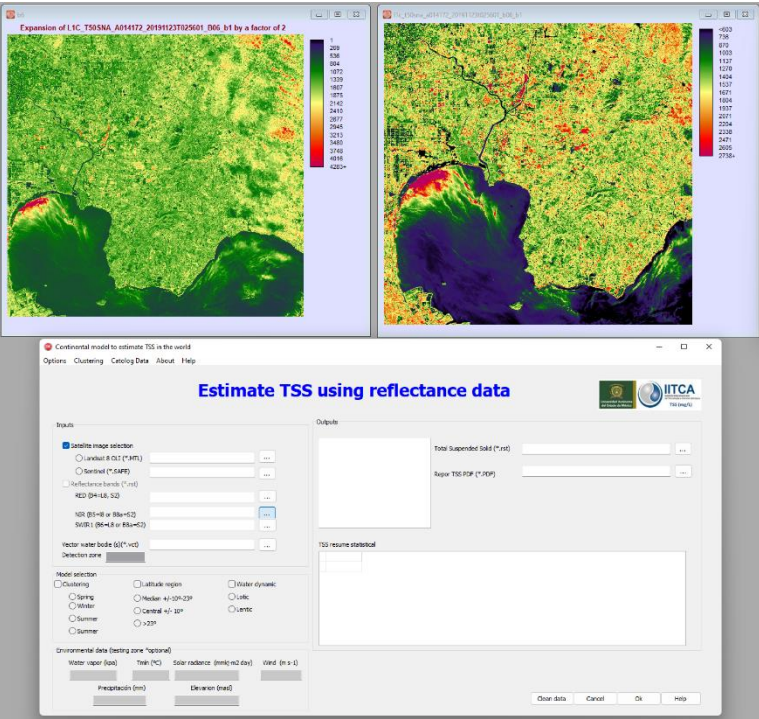
Mientras tanto el 38.5% de cuerpos de agua presentaron resultados favorables. Este porcentaje corresponde a 5 cuerpos de agua (34,81,152,157,156) utilizados en la comparación que presentaron un coeficiente de determinación aceptable ($R^2 \geq 0.6$). Con ello se puede deducir que aun cuando no proporcionaron información suficiente para los modelos regionales (algunos cuerpos de agua), estos últimos son capaces de inferir concentraciones cercanas a algunos casos (figura 5.32). De manera espacial los modelos de los autores contra los modelos regionales utilizados guardan relación en la mayoría de los cuerpos de agua, ya que las concentraciones con mayor presencia de SST se conservan entre una imagen y otra (anexo XX). La caracterización ambiental fue de ayuda no solo para asignar un modelo regional, sino para demostrar que la disparidad en alguna de las características implica un ajuste bajo como el observado en estos ejemplos. Por lo tanto, en estudios futuros es el área que se recomienda seguir estudiando para una mejora en las bases de selección de los modelos regionales a utilizar.

CAPÍTULO 6. RECOMENDACIONES

Tabla 6.1 Actividades sugeridas para nuevas investigaciones

Tipo de límite	Descripción del alcance	Recomendaciones
Desarrollo de modelos regionales por latitud DA, VA	Variables ambientales VA	Identificar el comportamiento de las estimaciones a través de clústers bajo este tipo de desarrollo con procesamiento de distancia promedio. Identificar otro tipo de modelado estadístico que considere el tipo de distribución que siguen las variables propuestas en el presente estudio bajo características latitudinales y por sistema léntico y lótico. Analizar técnicas de caracterización ambiental del sitio que cumplen con la función de detectar condiciones numéricas que sean similares.
	Variables regresoras	Revisar los coeficientes de cada variable regresora sobre todo en modelos múltiples, por la varianza de error generada en cada una de ellas.
	Delimitación de intervalos	Delimitar franjas de estimación: buscar una técnica de estadística para conocer los segmentos recomendables para la estimación de SST. Realizar pruebas mensuales en al menos 3 CA para cada modelo regional, es decir, un mínimo de 12 estimaciones y observar los alcances del modelo regional de forma aplicada.
	Correlaciones	Probar correlaciones entre variables regresoras de los autores y el compendio de estimaciones de SST como medio para encontrar mejoras sencillas en los modelos regionales.
	Profundidad	Revisar las profundidades del agua con la que se calibraron los modelos ya que puede ser una de las causas por las cuales el modelo no obtiene pruebas en otros sitios con capacidad explicativa mayor al 85%
	Dinámica del agua	Se trabajará en la formación de ríos, sus coeficientes en las variables regresoras, tipo de modelo.
Formación del modelo	Información espectral IE	Realizar distintas pruebas de modelado de SST e información espectral de formas lineales y no lineales para encontrar una tendencia a seguir con el PCA estudiado.
	Análisis de Componentes Principales	Estudiar el comportamiento de las variables regresoras con términos con correlación baja y quitar las variables con correlación entre 0.6-0.75 de los modelos de los autores y observar el comportamiento de las estimaciones bajo esta modelación en estudios futuros. Como paso siguiente se recomienda analizar las regresiones bajo el sistema de componentes principales y encontrar el eigenvector y eigenvalues que expliquen el modelo regional como mínimo en un 90% y compararlo con los obtenidos en el presente estudio (anexo XXI).
	latitud	Analizar las características climáticas en función de la latitud y su incidencia directa o indirecta con los cuerpos de agua continentales, ya que los principales resultados obtenidos en la presente modelación no presentan una característica correlacionable a nivel latitudinal (anexo XXII y XXII1). Por lo tanto, si se identifica una forma de asociación climática, el uso de los modelos regionales será beneficiados en la facilidad de su aplicación por los usuarios.
	Variables regresoras	Buscar las transformaciones necesarias a la banda 3,4,5 de Landsat y su paralelo a Sentinel para buscar un solo modelo mundial

Tipo de límite	Descripción del alcance	Recomendaciones
Temporalidad	Realización de pruebas	Probar los alcances de los modelos bajo diferentes condiciones de estacionalidad, mensual y/o anual con los modelos regionales encontrados, ya que en la presente investigación únicamente se probó en cuerpos de agua correspondiente al grupo 9, cuya modelación de esta resulto compleja. Por lo tanto, es esperable que en algunas de ellas presentaran un coeficiente de determinación ajustado bajo. Es decir, en cuerpos de agua, que son identificados de forma adecuada con la caracterización ambiental se esperan observar una capacidad explicativa adecuada.
Pruebas	Realización de pruebas	Establecer los umbrales de reflectancia en la que trabaja cada modelo regional con base en pruebas numerosas y rigurosas en cueros de agua aplicables a cada modelo regional en función del número de cuerpos de agua y de la temporalidad de las imágenes.
Suport Vector Machine Learning	Comportamiento en la caracterización ambiental	Debido a la complejidad en las estimaciones de SST en modelos exponenciales es necesario revisar esta metodología para la linealidad de los SST en concentraciones cercanas a los 0 mg/L ya que de forma normal genera estimaciones negativas la cual por el sentido físico del parámetro de calidad del agua no se puede encontrar.
En otros PCA que intervienen en los SST	El presente proyecto se analizó SST para diseñar sus respectivas ecuaciones de regresión, sin embargo, una evaluación alternativa sería observar la correlación con otros parámetros de calidad del agua que tienen similitud con SST	Se recomienda que en los estudios futuros de caracterización de la calidad del agua con sensores remotos incluya: Análisis de la vegetación; Para esta variable se recomienda estudiar el <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDWI) y ser revisada en la caracterización ambiental, ya que podría aportar información en la coloración del agua verde, verde azulado y marrón dependiendo de las especies que se encuentran en el sitio. Con base en el supuesto anterior las reflectancias podrían presentar valores influenciadas bajo este fenómeno (Sundabarabalan et al., 2020). pH: Si bien esta variable corresponde al estudio de la proliferación y desarrollo de la vida acuática es bastante estrecha y crítico (Universidad de Tolima, 2017). También puede ser de suma importancia el contenido de SST ya que, a mayor acidez del cuero de agua, la desintegración de solidos provenientes de la agricultura podrían ser desintegrados en el cuerpo de agua (Roldán, 2003). DBO: La descomposición de la materia orgánica por vías biológicas (microbios) se denomina demanda bioquímica o biológica de oxígeno (DBO). Es la medida de la valoración de la cantidad de materia orgánica que se encuentra en un cuerpo de agua. El exceso de materia orgánica agota el oxígeno en el agua; bajo estas condiciones el agua tiene apariencia de color turbio, grisáceo y olores característicos de huevos podridos (ácido sulfhídrico: Roldán, 2003).

Tipo de límite	Descripción del alcance	Recomendaciones
Creación de una herramienta informática	Software SSTWater	 Debido a la temporalidad del proyecto de doctorado se vio limitado el desarrollo de la herramienta informática, sin embargo, para estudios posteriores se puede desarrollar herramientas que permitan la estimación de SST de forma práctica.
En la información de entrada	En la selección de muestras se realizó la recolección de muestras en dos temporadas (antes de lluvias y después de lluvias).	Para conocer el comportamiento espectral de las bandas durante todo el año se puede recolectar muestras en cada estación del año (primavera, verano, otoño e invierno).
	La tolerancia en el muestreo es de 1 día para aguas que no tienen movimiento constante (el muestreo antes de lluvia se realizó el 19 de mayo de 2019 y el satélite toma la imagen el 18 de mayo de 2018).	Es altamente recomendable realizar los muestreos el mismo día en el que satélite capte la información de la zona de la escena de la zona de estudio para que la correlación sea cercana a la realidad.
Bases teóricas	La validación de la reflectancia se realizó a través de la consulta bibliográfica de estudios	En caso de tener un espectro radiómetro, es importante que se realice la validación de la reflectancia estimada por el sensor y la del espectro radiómetro de campo.

	de la NASA (2010), Barsi et al. (2005), etación (anexo VI.	
	La metodología de correlación de los datos de PCA (mg/L) y la reflectancia $\left(\frac{w}{m^2 \cdot sr \cdot \mu m}\right)$ fueron basadas en función de regresiones múltiples.	Agregar métodos de estimación de PCA como los métodos empíricos (redes neuronales artificiales), programación genética (PG) métodos analíticos (método puramente analítico, matriz de radio inversión, modelo bio-óptico, modelo analítico de luz-clima acuático) y método semi-empírico y semi-analítico.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

Los modelos regionales obtenidos en el presente proyecto están relacionados con los objetivos planteados en la presente investigación, sin embargo, también se plantean recomendaciones de acuerdo con lo obtenido ya que pueden mejorarse en estudios futuros manejando como base los estudios regionales de SST a través de sensores remotos. Lo anterior se enfoca en la sugerencia de búsqueda de otros parámetros estadísticos y físicos que pueda mejorar la caracterización de los modelos regionales. Dichos resultados de la investigación se describen en los siguientes párrafos.

Para la etapa 1 uniformizar información se realizó la consulta de recolección de los modelos de regresión y muestreos de campo de un total de 42 cuerpos de agua seleccionadas como viables para ser estudiadas. A partir de lo anterior, se lograron tres elementos importantes a) generar la base de datos de regresiones, b) calibrar las ecuaciones a unidades de reflectancia bajo las diferentes tipos de correcciones atmosféricas y la c) evaluación con los estadísticos necesarios para almacenarlos en la base de datos de regresiones. Estas bases de datos se encuentran en los anexos (imagen QR) para que pueda ser revisada y mejorada en estudios posteriores con base en las recomendaciones planteadas en el capítulo anterior.

En la etapa de tratamiento y estimación de reflectancia, se calibraron y corrigieron las imágenes satelitales (Landsat y Sentinel) y con ello se extrajo una muestra estratificada de las concentraciones de SST, reflectancias y términos de regresiones por cuerpo de agua. A partir de lo anterior se construyó una base de datos de toda la información necesaria para la construcción de los modelos regionales.

En relación con la caracterización de SST y reflectancias (etapa 3) se identificaron las medidas de tendencia central y dispersión de las reflectancias y concentración de SST por medio de la muestra estratificada de los datos debido a que la población total es de tamaño considerable para ser procesada por medio de un sistema de cómputo. Con base en lo anterior se tiene que el valor máximo para la modelación de SST es de

904.3 mg/L y las bandas 3,4,5 con referencia Landsat (paralelo a lo correspondiente con Sentinel) son las que influyen de manera marcada en la concentración de SST. Sin embargo, a nivel regional, las variables regresoras cambian debido a las transformaciones utilizadas para una mejora capacidad explicativa. Sin embargo, también se identificó que la banda azul (tanto de Landsat como de Sentinel 2A) juegan un papel importante a nivel de correlación y del rango de los datos estudiados.

En la etapa 4 Construcción de *modelos regionales* se logró realizar la caracterización de las reflectancias y SST en función de medidas de tendencia central, dispersión, tipo de distribución, medias etc. Dando como resultados 8 modelos regionales con una explicativa $R^2 \geq 0.79$ y $RMSE \leq 64.2$ mg/L como máximo (solo un modelo regional tiene este RMSE con disparidad elevada) y coeficiente de Nash-Sutcliffe adecuado ($E \geq 0.8$). De los modelos 6 son de tipo polinómico, 1 de forma lineal y otro de forma logarítmica. Dichos modelos fueron construidos bajo la técnica de *Hierarchical Clusters Analysis* y para los modelos locales que dificultaron la capacidad explicativa ajustada del modelo regional fue reubicado a otra región con base a un análisis de correspondencia por pares.

La caracterización de los modelos regionales con VA correspondiente a la temperatura ambiental (descargados de WorldClim, temp., min., prom. y máx) TASA (descargado del portal MODIS-NASA), la radiación solar, precipitación (descargado de WorldClim y comparado con IMERG-Final), estos datos fueron descargado con la resolución más detallada posible considerando que los datos a trabajar son mundiales (1 km de resolución, IMERG-Final reescalado a 1 km para su comparación). La VA correspondiente a la temperatura del cuerpo de agua (TCA) fue analizada en función con datos MODISA02 e interpretadas con base en propuestas de García (2020) y Quereda et al. (2006) a fin de tener una consistencia aceptable para incluirlos en el análisis.

La caracterización se centró en valores promedios estandarizados de cada variable y para una discriminación representativa se diseñaron los valores de significancia para notar la diferencia entre ellas basados en P-value. Con base en lo anterior se obtuvieron la firma espectral y ambiental de cada modelo regional para su utilidad en cuerpos de agua que no se incluyen en los modelos regionales (cada uno de ellos es diferente debido a las condiciones ambientales de las regiones), por lo tanto, el presente estudio presenta una propuesta para generar estimaciones de SST en cuerpos de agua que no poseen un modelo local propio.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Kanga, S., Meraj, G., Das, B., Farooq, M., & Chaudhuri, S. (2020). Modeling the spatial pattern of sediment flow in lower Hugli estuary, West Bengal, India by quantifying suspended sediment concentration (SSC) and depth conditions using geoinformatics. *Applied Computing and Geosciences*, 8 (10043), 1-12.
- Kapalanga, T. S., Hoko, Z., Gumindoga, W., & Chikwiramakomo, L. (2021). Remote-sensing-based algorithms for water quality monitoring in Olushandja Dam, north-central Namibia. *Water Supply*, 1-17.
- Abdelmalik, K. W. (2016). Role of statistical remote sensing for Inland water quality parameters prediction. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 300 (3), 1-8.
- Adawiah, S. W., Setiawan, K. T., Perwati, E., & Faristyawan, R. (2021). Development of Empirical Model of Total Suspended Solid Development of Empirical Model of Total Suspended Solid. *The 6th International Conference on Tropical and Coastal Region Eco-Development*, 1-9.
- Afgatiani, P. M., Hartuti, M., & Budhiman, S. (2020). Deteksi sebaran Muatan padatan tersuspensi degand model empiris dan model semi-analitik di perairan Bekasi. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(2), 341-351.
- Aiman, M., Mohosen, M., & Hossam, S. (2014). Statistical estimation of Rosetta Branch Water Quality using multi-spectral data. *National Water Reserch Center*, 28, 18-30.
- Airclain-USGS-NASA. (26 de noviembre de 2021). *Air-clain USGS-NASA* . Obtenido de Pollution-Dust, Air-clain USGS-NASA : <https://lpdaacsvc.cr.usgs.gov/appeears/task/tarea>
- Aldabash, M. D., & Şanlı, F. B. (2016). Analysis of Multi Temporal Satellite Imagery for Total Suspended Sediments in a Wave-Active Coastal Area-Gaza Strip Coastal Water, Palestine. *International Journal of Environment and Geoinformatics* 3 (1), , 1-11.
- Alonso, O. L. (2015). *La econometría espacial un enfoque para el estudio a nivel de datos microterritoriales de las políticas de desarrollo rural de la Unión Europea. El caso de Asturias*. Málaga: Universidad de Málaga.
- Ambiga, K., & Annadurai, R. (2015). Development of Water Quality Index and Regression Model for Assessment of Groundwater Quality. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 4, (1), 931-943.
- Ambiga, K., & AnnaDurai, R. (2015). Development of Water Quality Index and Regression Model for Assessment of Groundwater Quality. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 5 (1), 931-943.
- Andrade, E. C. (2013). *Estudio de los principales tipos de redes neuronales y las herramientas para su aplicación*. Salesiana: Universidad Politécnica Salesiana.

- Aparicio, J., Martínez, A., & Morales, J. (2017). *Modelos Lineales Aplicados en R*. España: Universidad Miguel Hernández.
- APHA. (2000). *Métodos Normalizados par el análisis de Aguas Potables y Residuales*. España: Díaz Santos.
- Arango, J. G., Holzbauer-Schweitzer, B. K., Nairn, R. W., & Knox, R. C. (2020). Generation of Geolocated and Radiometrically Corrected True Reflectance Surfaces in the Visible Portion of the Electromagnetic Spectrum Over Large Bodies of Water using Images from an sUAS. *Remote sensing*, 1-14.
- Argibay, P. F. (2011). Estadística avanzada en medicina: el análisis de componentes principales. *Revista del hospital italiano de buenos aires MCMLXI*, 31 (3), 107-112.
- Arias, L. (2014). *Estimación de la turbiedad mediante percepción remota en embalses del Estado de Aguascalientes*. México: UNAM.
- Avalos, K. (2012). *Percepción Remota y sus aplicaciones a la evaluación de la calidad del agua*. Ciudad Universitaria, México: UNAM.
- Aviña, R. J. (2018). *Estimación de parámetros ambientales a partir de imágenes Landsat 8 y mediciones in situ, en Bahía de la Paz, BCS*. La Paz, Baja California Sur: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.
- Awad, R. (2014). *Análisis de redes neuronales artificiales*. España: Revista española de Teledetección.
- Balasubramanian, S. V., Pahlevan, N., Smith, B., Binding, C., Schalles, J., Loisel, H., . . . O'Donnell, D. (2020). Robust algorithm for estimating total suspended solids (TSS) in inland and nearshore coastal waters. *Remote Sensing of Environment*, 246 (2020), 1-18.
- Barsi, J. A., Schott, J. R., Palluconi, F. D., & Hook, S. J. (2005). Validation of a Web-Based Atmospheric Correction Tool for Single Thermal Band Instruments. *Earth Observing Systems X*. 5882 (2), 1-11.
- Bazán, R., Corral, M., Pagot, M., Rodríguez, A., Oroña, C., Rodríguez, M. I., & Larrosa, N. (2005). Teledetección y modelado numérico para el análisis de la calidad del agua Los Molinos, Córdoba, Argentina. *Ingeniería Hidráulica en México*, 20 (2), 121-155.
- Bazán, C. I., & Suárez, M. (2014). Propuesta metodológica para detectar patrones geográficos de conflictos por el agua en el estado de Morelos, 2000-2010. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 69-80.
- Bioresita, F., Pribad, C. B., Firdaus, H. S., Hariyanto, T., & Puissant, A. (2018). The use of Sentinel-2 imagery for Total Suspended Solid (TSS) estimation in Poring River, Sidoarjo. *Elipsoida Jurnal Feodesi Dan Geomatika*, 01 (01), 1-6.
- Briceño, L., Pérez, W., San Miguel, D., & Ramos, S. (2018). Determinación de calidad de agua en el Lago Vichuquén, con imágenes de satélite Landsat 8, sensor OLI, año 2016, Chile. *Revista de Teledetección*, 52, 67-78.

- Bui-Dinh, C. (2016). Application of remote sensing for qualifying total suspended solid concentrations in coastal water: The case Study of Ba Lat Estuary. *Reserchgate*, 1, 1-36.
- Caballero, I., Steinmetz, F., & Navarro, G. (2018). Evaluation of the First Year of Operational Sentinel-2A Data for Retrieval of Suspended Solids in Medium- to High-Turbidity Waters. *Remote Sensing*, 10 (982), 1-23.
- Cabrera, J. (2015). *Calibración de Modelos Hidrológicos*. Colombia: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Cahyono, B., Jamilah, U. L., Nugroho, M. A., & Subekti, A. (2019). Analysis of Total Suspended Solids (TSS) at Bedadung River, Jember District of Indonesia Using Remote Sensing Sentinel 2A Data. *Singapore Journal of Scientific Research*, 9 (4), 117-123.
- Carrillo, C. J. (2003). *Fundamentos del Análisis de Fourier*. España: Departamento de Ingeniería Eléctrica-Universidad de Vigo.
- Carrillo, I. D. (2016). *Elaboración de un modelo aplicado a imágenes MODIS para la Estimación de los sólidos suspendidos totales en la desembocadura del Río Atrato*. Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Castro, C. & Brignarbello, L. (2005). *Geomorfología aplicada a la ordenación territorial de litorales arenosos*. Santiago de Chile: Revista de Geografía Norte Grande.
- CEPAL. (2014). *El desafío de la sostenibilidad ambiental en América Latina y el Caribe*. México: CEPAL.
- Cervantes-Jiménez, M., Mastachi-Loza, C. A., Díaz-Delgado, C., Gómez-Albores, M. A., & González-Sosa, E. (2017). Socio-Ecological Regionalization of the Urban Sub-Basins in Mexico. *water*, 9 (14), 1-24.
- Chang, N. B., Imen, S., & Vannah, B. (2015). Remote Sensing for Monitoring Surface Water Quality Status and Ecosystem State in Relation to the Nutrient Cycle: A 40-Year Perspective. USA. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 107295, 101-166.
- Chavez, P. S. (1996). "Image-Based Atmospheric Corrections – Revisited and Improved",. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69 (9), 1025-1036.
- Cheng Tu, M., Smith, P., & Filippi, A. M. (2018). Hybrid forward-selection method-based water-quality estimation via combining Landsat TM, ETM+, and OLI/TIRS images and ancillary environmental data. *PLOS ONE*, 1-23.
- Chenggong, D., Qiao, W., Yunmei, L., Heng, L., Li, Z., Zhubin, Z., . . . Yulong, G. (2018). Estimation of total phosphorus concentration using a water classification method in inland water. *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*, 71, 29-42.
- Cheol, H., Son, s., Hoon, Y., Seong, J., Nam, J., Keun, W., . . . Ryu, J. (2017). Remote sensing and water quality indicators in the Korean West coast: Spatio-temporal structures of MODIS-derived chlorophyll-a and total suspended solids. *Marine Pollution Bulletin*, 121 (1-2), 1-10.
- Chuvieco, E. (2002). *Fundamentos de Teledetección y percepción remota*. México: McGrawMillan.

- Ciancia, E., Campanelli, A., Lacava, T., Palombo, A., Pascucci, S., Pergola, N., . . . Tramutoli, V. (2020). Modeling and Multi-Temporal Characterization of Total Suspended Matter by the Combined Use of Sentinel 2-MSI and Landsat 8-OLI Data: The Pertusillo Lake Case Study (Italy). *remote sensing*, 12 (2147), 1-24.
- Clarck, L. (1993). *Manual IDRISI* . United States: Universidad de Clarck.
- Clevers, J. G., & Gitelson, A. (2013). Remote estimation of crop and grass chlorophyll and nitrogen content using red-edge bands on Sentinel-2 and -3. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 23, 344-351.
- Clicom. (30 de Abril de 2021). *Base de datos climatológica nacional (Sistema Clicom)*. Obtenido de Base de datos climatológica nacional (Sistema Clicom): [http://clicom. mx](http://clicom.mx)
- Comité Estatal de Sanidad Acuícola del Estado de Nayarit A. C. (2015). *Evaluación de la calidad del agua mediante imágenes satelitales -Región de San Blas*. Nayarit: Comité Estatal de Sanidad Acuícola del Estado de Nayarit A. C.
- COPERNICUS. (07 de 04 de 2021). *COPERNICUS*. Obtenido de COPERNICUS: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>
- Coro, C. (2014). *Econometría espacial a la predicción-extrapolación de datos microterritoriales*. Madrid, España: Universidad Autónoma de Madrid.
- Coutiño, L. (2012). *Análisis multitemporal de imágenes satelitales para conocer la calidad del agua en La Presa: Valle de Bravo*. Ciudad Universitaria, México D. F.: UNAM.
- Cruz, A. (2019). *Caracterización fisicoquímica de cuerpos de aguas superficiales a través de sensores remotos. Caso Presa J. A. A. México*. Toluca, Estado de México: IITCA-UAEMex.
- DayMet. (17 de Noviembre de 2020). *Datos meteorológicos mensuales y diarios*. Obtenido de DayMet: [www. daymet. oml.gov](http://www.daymet. oml.gov)
- De Arce, R., & Mahía, R. (2008). *Conceptos básicos sobre la heterocedasticidad en el modelo básico de regresión lineal: Tratamiento con E-Views*. Madrid España: Universidad Autónoma de Madrid.
- De la Fuente, S. (2011). *Análisis conglomerados*. CDMX-México: Universidad Autónoma Metropolitana-UAM.
- DOF. (1996). *Límites máximos permisibles para contaminantes básicos*. México: Secretaria de Economía.
- DOF. (2010). *Análisis de agua-Medición de Nitrógeno Total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de Prueba*. México: Secretaría de Economía.
- DOF. (2015). *Análisis de agua - Medición de Sólidos y Sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de Prueba*. México: Secretaría de Economía.
- Domínguez, J. A., Morán, J. T., Baena, R., Soria, X., Soria, J., & Caselles, V. (2017). Investigar aprendiendo: Calidad de Agua mediante Teledetección, 3 (7). *Nuevas plataformas y sensores de teledetección. XVII Congreso de la Asociación Española de Teledetección*, 506-510.

- Doña, C. (2016). *Monitoring water quality and hidrological patterns of watlands using recent techniques in remote sensing*. Valencia: Universitat València.
- EcuRed. (29 de Julio de 2021). *Lógica paraconsistente EcuRed*. Obtenido de Lógica paraconsistente EcuRed: http://ecured.cu/logica_paraconsistente
- Ekerin, S. (2007). Water Quality Retrievals from High Resolution Ikonos Multispectral Imagery: A Case Study in Istanbul, Turkey. *Water Air Soil Pollut*, 183 (1), 239–251.
- Embarcadero-Delphi. (10 de Mayo de 2021). *Delphi 10.4.2*. Obtenido de Embarcadero An Idera. Inc. Company: <http://embarcadero.com/es/products/delphi>
- Essam, S. D. (2019). Enhancing the accuracy of retrieving quantities of turbidity. *Journal of Spatial Science*, 1-21.
- Estruch, F. (2010). “*Análisis de la clorofila a en el agua a partir de una imagen multiespectral Quickbird en la zona costera de Gandía*”. Gandía: UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA.
- Estruch, F. (2010). “*Análisis de la clorofila a en el agua a partir de una imagen multiespectral Quickbird en la zona costera de Gandía*”. Gandía: Universidad Politécnica de Valencia.
- EXCELTOTAL. (28 de octubre de 2021). *Excel total: Columnas y filas en Excel*. Obtenido de Excel total: Columnas y filas en Excel: <http://exceltotal.com/columnas-y-filas/>
- Fang, L., Chen, S., Wang, H., Qian, J., & Zhang, L. (2010). Detecting marine intrusion into rivers using EO-1 ALI satellite imagery: Modaomen Waterway, Pearl River Estuary, China. *International Journal of Remote Sensing*, 31 (15), 4125-4146.
- Fauzi, M., & Wicaksono, P. (2019). Total Suspended Solid (TSS) Mapping of Wadaslintang Reservoir Using Landsat 8 OLI. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science- 2nd International Conference of Indonesian Society for Remote Sensing (ICOIRS)*, 47(012029), 1-9.
- Faye, C., Grippa, M., Kergoat, L., & Robert, E. (2020). Investigating the drivers of total suspended sediment regime in the Senagal River using Landsat 8 OLI satellite images. *Journal of Environmental Geography*, 13 (1-2), 31-42.
- Fenco, H. A. (2018). *Observaciones satelitales de salinidad superficial en el Océano Atlántico Sudoccidental: Intercambio entre plataforma y salud*. La Plata, Argentina: Facultad de Ingeniería- Universidad de la Plata.
- Fernández, A., & Moreira, J. M. (2014). Metodología para el seguimiento multitemporal de la calidad de las aguas costeras en Andalucía a través del tratamiento de imágenes Landsat-TM. *Teledetección usos y aplicaciones*, Universidad de Sevilla.
- Fonseca, C. R., Cruz-Retana, A., Gómez-Albores, M. A., & Becerril-Piña, R. (2021). *Multiclass Data Organizer-TerrSet por IITCA-UAEM*. Toluca, México: Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua IITCA-UAEM.
- García, R. (2020). *Análisis de dispersión de la pluma térmica de la central nucleoeléctrica laguna verde mediante teledetección*. Toluca, México: IITCA-UAEMéx.

- Géron, A. (2017). *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn & TensorFlow*. United States of America: O'Reilly.
- Gholizadeh, M. H., Melesse, A. M., & Deddi, L. (2016). A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques. *Sensor*, 2-43.
- Gil, C. (2018). *Métodos de remuestreo y validación de modelos: validación cruzada y bootstrap*. México: Macine Learning R.
- GIOVANNI-NASA. (22 de Enero de 2020). *Giovanni The Bridge Between Data and Sciencie*. Obtenido de National Agency Spatial Administration: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni>
- Gómez, J. L., & Dalence, J. S. (2014). *Determinación del parámetro sólidos suspendidos totales mediante imágenes de sensores ópticos en un tramo de la cuenca media del Río Bogotá (Colombia)*. Colombia: Universidad Mayor de San Simón.
- Google Earth Engine. (21 de 10 de 2021). *Google Earth Engine*. Obtenido de A planetary-scale platform for Earth Science data & analysis: <http://www.earthengine.com>
- Hajigholizadeh, M., & Melesse, A. M. (2016). Assortment and spatiotemporal analysis of surface water quality using. *CATENA*, 30, (59), 1-12.
- Håkanson, L. (2004). A new solution to an old problem in aquatic sciences. Lakes & Reservoirs. *Lakes & Reservoirs. Research and Management*, 9, 3-23.
- Harrington, J. A., & Schiebe, F. R. (1992). Remote sensing of Lake Chicot, Arkansas: Monitoring suspended sediments, turbidity and Secchi depth with Landsat MSS data. *Remote Sensing of Environment*, 39 (1), 15-27.
- Hastie , T., Tibshirani, R., & Friedman, F. (2017). *The element of Statistical Learning*. Stanford, California: Springer Series in Statistics.
- Hernández, J. L. (2017). *Monitoreo de la calidad del agua superficial mediante percepción remota: Estudio de caso "Valle de Bravo"*. Toluca, México: CIRA-UAEMex.
- IDEAM. (2011). *Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia*. Colombia: IDEAM- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IMERG-NASA GLOBAL. (10 de Mayo de 2021). *IMERG Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM* . Obtenido de Global Precipitation Measurement-NASA: [gpm. nasa.gov/data7IMERG](http://gpm.nasa.gov/data7IMERG)
- INECOL. (2010). Las microalgas oleaginosas como fuente de biodiesel: retos y oportunidades. *INECOL- Instituto Nacional de Ecología*, 1-20.
- INGEOMINAS. (2005). *Estudio de microzonificación sísmica de Santiago de Calí*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Geología y Minería- INGEOMINAS.
- IOCCG. (2012). Remote Sensing of Ocean Coluor in Coastal, and Other Optically-Complex, Waters. Canada. *International Ocean-Colour Coordinating Group*, 1-112.

- Jaelani, L. M., Linehuwey, R., Pamungkas, A., Koenhardono, E. S., & Sulisetyono, A. (2016). Estimation of TSS and Chl-a Concentration from Landsat 8-OLI: The Effect of Atmosphere and Retrieval Algorithm. *IPTEK, The Journal for Technology and Science*, 27 (1), 16-23.
- Jerves, R., & Machado, J. (2016). *Análisis temporal del contenido de PM10 en el aire de cuenca a partir de Imágenes Landsat*. Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Karaoui, I., Arioua, A., Boudhar, A., Hssaisoune, M., Mouatassime, S., Ouhamchich, K. A., & Elhamdouni, D. (2019). Evaluating the potential of Sentinel-2 satellite images for water quality characterization of artificial reservoirs: The Bin El Ouidane Reservoir case study (Morocco). *Meteorology Hydrology and Water Management*, 7 (1), 30-39.
- Kavurmaci, M., Ekercin, S., & Altas, L. (2013). Use of EO-1 Advanced Land Imager (ALI) multispectral image data and real-time field sampling for water quality mapping in the Hirfanlı Dam Lake, Turkey. *Environ Sci Pollut Res*, 20 (1), 516-4524.
- KC, A., Chalise, A., Parajuli, D., Dhital, N., Shrestha, S., & Kandel, T. (2019). Surface Water Quality Assessment Using Remote Sensing, Gis and Artificial Intelligence. *TECHNICAL JOURNAL-Nepal Engineers' Association, Gandaki*, 113-122.
- Kulkarni, A. (2011). Water Quality Retrieval from Landsat TM Imagery. *Procedia Computer Science*, 6, 475-480.
- Lara, F. (2012). *Fundamentos de redes neuronales artificiales*. México: CDMX.
- Li, W., & Yu, W. (2019). Modelling Reservoir Turbidity Using Landsat 8 Satellite Imagery by Gene Expression Programming. *Water*, 137, 1-16.
- Lobo, F. L., Costa, M., & Novo, E. (2015). Time-series analysis of Landsat-MSS/TM/OLI images over Amazonian waters impacted by gold mining activities. *Remote Sensing of Environment*, 157 (1758), 170-184.
- López, S. C., Chung, P., & Ramírez, M. P. (2021). Proceso Analítico Jerárquico (AHP) Proceso Analítico Jerárquico (AHP) localización óptima de estaciones intermodales. *intermodales*, 21 (66), 315-358.
- Maciel, D., Novo, E., Sander-de-Carvalho, L., Barbosa, C., Flores, R., & De-Lucia, F. (2019). Retrieving Total and Inorganic Suspended Sediments in Amazon Floodplain Lakes: A Multisensor Approach. *Remote Sensing*, 11 (1744), 1-33.
- Manzanilla-Quijada, G. E., Treviño-Garza, E. J., Vargas, L. B., López-Martínez, J. O., & Mata-Balderas, J. M. (2021). Áreas idóneas con potencial para la producción de semillas de *Pinus Chihuahuensis* Engelm. y *Pinus Leiophyla* Schltdl. & Cham en México. *Botanical Sciences*, 98 (2), 305-316.
- Mehta, A., & Flores, A. (2018). *El monitoreo de la Calidad del Agua Mediante el Procesamiento de Imágenes Satelitales*. San Francisco: ARSET.
- Metcalf, R., & Eddy, E. (1997). *Ingeniería de Aguas Residuales* (Contaminación e Ingeniería Ambiental ed., Vol. I). (H. & J- L- Bueno, Ed.) United States, EUA: Mc GrawHill.

- MODIS-NASA. (19 de Julio de 2021). *GSFC-MODIS*. Obtenido de GSFC-MODIS-NASA: <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod11.php>
- Mohamed, E., Gitas, I., Othman, A., & Gikas, P. (2019). Assessment of Water Quality Parameters Using Temporal Remote Sensing Spectral Reflectance in Arid Environments, Saudi Arabia. *water*, 1, 1-14.
- Montaño, J. J. (2002). *Redes Neuronales Artificiales aplicadas al análisis de datos*. Palma de Mallorca: Universitat de Les Illes Balears.
- Mukhtar, M., & Yassen, F. (2019). Modeling Water Quality Parameters Using Data-Driven Models, a Case Study Abu-Ziriy Marsh in South of Iraq. *hydrology*, 139 (7), 1-17.
- Mun, J. (2012). *Simulador de riesgo Manual de usuario en Español*. Dublin: R-Real Options Valuation.
- Mun, J. (2012). *Simulador de riesgo Manual de Usuario en Español*. Dublin: R-Real Options Valuation.
- Mushtaq, F., & Nee-Lala, M. G. (2016). Remote Estimation of Water Quality Parameters of Himalayan Lake (Kashmir) using Landsat 8 OLI. *Geocarto International*, 1010-6049 (1752-0762), 1-22.
- Nabors, M. W. (2006). *Introducción a la Botánica*. Madrid España: Person Addison Wesley.
- Navidi, W. (2006). *Estadísticas para ingenieros y científicos*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Nguyen, T. H., Phan, D., Nguyen, H. T., Tran, S., Tran, T., Tran, B., & Doan, T. (2020). Total Suspended Solid Distribution in au River Using Sentinel 2A Satellite Imagery. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, IV (3/W1), 91-97.
- Nuridin, N., Helmi, M., Setiawan, R. Y., Zainuddin, M., Agus, R., & Akbar, M. (2019). Landsat to mapping Total Solid Suspended (TSS) and Coastal Ecosystem. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 16 (XLII), 497-502.
- Nurgiantoro, N., Muliddin, N., Kurniadin, N., Putra, A., Azharuddin, M., Hasan, J., . . . Langumad, M. (2019). Assessment of atmospheric correction results by iCOR for MSI and OLI data on TSS concentration. *Geomatics International Conference*, 1-11.
- Orjuela, E. A. (2019). *Mapeo de la Turbidez utilizando firmas espectrales obtenidas mediante el procesamiento de imágenes satelitales en el embalse de Tomiré*. Bogotá, Colombia: Environmental Engineering Commons.
- Ouma, Y., Noor, K., & Herbert, K. (2020). Modelling Reservoir Chlorophyll-a, TSS, and Turbidity Using Sentinel-2A MSI and Landsat-8 OLI Satellite Sensors with Empirical Multivariate Regression. *Hindawi-Journal of Sensors*, 2020 (8848408), 1-21.
- Pahlevan, N., Chittimallia, S. K., Sundarabalan, V. B., & Vellucci, V. (2019). Sentinel-2/Landsat-8 product consistency and implications for monitoring, aquatic systems. *Remote Sensing of Environment*, 220, 19-29.
- Pandhadha, E. A., Aunurrahim, A., Ayudyanti, A., Huda, M., Sabrina, R., & Anindya, S. (2019). Total Suspended Solid (TSS) Estimation in Lake Tempe, South Sulawesi Using Sentinel-2B Imagery,

1957. *EasyChair-Student of Departement Geographic Information Science, Faculty of Geography, Universitas Gadjah Mada, INA*, 1-5.
- PCE Instruments Chile S. A. (19 de Noviembre de 2018). *PCE Instruments Chile S. A.* Obtenido de DQO HHI 83214 (Demanda química de O₂) medidor para la demanda química de oxígeno: <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-fotometrico/medidor-dqo-83214.htm>
- Pérez, C. (2017). *Herramientas estadísticas para la investigación y diagnóstico en enfermedades tropicales-Análisis clústers*. España: ULL-en YouTube.
- Permatasari, P. A., Muslimah, S., & Utumo, B. A. (2019). Comparison of LISAT and Landsat imagery for estimating chlorophyll-a (case study: Jatiluhur Reservoir). *Earth and Environmental Science*, 289, 1-7.
- Pham, Q. V., Thu-Ha, N. T., Pahlevan, N., Oanh, L. T., Nguyen, T. B., & Nguyen, N. T. (2018). Using Landsat-8 Images for Quantifying Suspended Sediment Concentration in Red River (Northern Vietnam). *remote sensing*, 10 (1841), 1-19.
- Phoung, T. B., Dand, V. P., Ba, N., & Cheng, N. (2017). Remote Sensing for Monitoring Surface Water Quality in the Vietnamese Mekong Delta: The Application for Estimating Chemical Oxygen Demand in River Reaches in Binh Dai, Ben Tre . *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 39, (3), 256-269.
- Pinkerton, M., Gall, M., & Wood, S. (2014). Remote sensing of suspended solids in Lyttelton Harbour/Whakaraupō water using satellite images. *Environment Canterbury Regional Council Kaunihera Ki Waitaha*, 1-41.
- Plazas, J. C., Lemas, A. J., & León, J. D. (2009). *Una propuesta estadística para la evaluación del impacto ambiental de proyectos de desarrollo*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Podger, N. E., Collwell, W. B., & Taylor, M. H. (2011). GeoEye-1 Radiance at Aperture and Planetary Reflectance. *GeoEye. Spce imaging*, (2), 11, 1-22.
- Quang, N. H., Sasaki, J., Higa, H., & Huan, N. H. (2017). Spatiotemporal Variation of Turbidity Based on Landsat 8 OLI in Cam Ranh Bay and Thuy Trieu Lagoon, Vietnam. *water*, 9 (570), 1-25.
- Quereda, J., Ruescas, A. B., Montón, E., & Escriv, J. (2006). *La teledetección de la temperatura superficial del mar: una validación de algoritmos en las aguas litorales del mediterráneo español*. Valencia: Laboratorio de Clima-Universitat Jaume I de Castelló.
- Rahman, A. S., & Rahman, A. (2020). Application of Principal Component Analysis and Cluster Analysis in Regional Flood Frequency Analysis: A Case Study in New South Wales, Australia. *water*, 17 (781), 1-26.
- Ramos, S., Broca, L. F., Laines, J. R., & Carrera, J. M. (2012). Tendencia de la calidad del agua en ríos de Tabasco, México. *Universidad Juárez Autónoma de Tabasco*, 16 (3), 207-2017.
- Rodríguez, J. (2014). *Corrección atmosférica de imágenes de satélite por métodos de aprendizaje automático*. México: Universidad de Valladolid.

- Rossen, A., Calvo, D., Rodríguez, M. I., Bustamante, A., Korol, S., & Angelaccio, C. (2009). Evaluación de la calidad del agua mediante modelación lineal de los indicadores de contaminación fecal en El Embalse San Roque (Córdoba, Argentina). *Instituto Nacional del Agua-INA*, 3 (6), 1-17.
- Rostom, N. G., Shalaby, A. A., & Yousry, M. I. (2017). Evaluation of Mariut Lake water quality using Hyperspectral Remote Sensing and Laboratory works. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 20, 539-548.
- RS-GEOIMAGE. (2011). *Imágenes de Satélite en la Exploración Geológica-Minera*. Argentina: RS-GEOIMAGE.
- Rubio, H. O., Ortiz, R. C., Quintana, R. M., Saucedo, R. A., Ochoa, J. M., & Rey, N. I. (2014). Índice de Calidad del Agua (ICA) en la Presa La Boquilla en Chihuahua, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 139-150.
- Ruiz, D. C. (2017). *Método de Estimación de Sólidos Suspendidos Totales como Indicador de la Calidad del Agua Mediante Imágenes Satelitales*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia .
- S/N. (2020). Remote sensing of total suspended sediment within lakes Onoke and Wairarapa . *Whaitua* , 1-7.
- Saberioon, M., Brom, J., Nedbal, V., Soucek, P., & Cízar, P. (2020). Chlorophyll-a and total suspended solids retrieval and mapping using Sentinel-2A and machine learning for inland waters. *Ecological Indicators*, 113 (2020), 1-11.
- Samaniego, L. (2014). *Procesamiento digital de imágenes de satélite con ENVI*. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Samaniego, L. (2014). *Procesamiento digital de imágenes de satélite con ENVI*. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Sánchez, A., Cruz, V., Posada, M. A., & Torrijos, M. T. (2016). Estudio del análisis de componentes principales en bases de datos de calidad del aire. *Research in Computing Science*, 9-19.
- Sánchez, A., Cruz, V., Posada, M. A., & Torrijos, M. T. (2016). Estudio del análisis de componentes principales en bases de datos de calidad del aire. *Research in Computing Science*, 120, 9-19.
- SeaDas-NASA. (10 de abril de 2021). *SeaDas-Ocean Color Web*. Obtenido de SeaDas-Ocean Color Web: <http://seadas.us>
- SEMARNAT. (2016). *Evaluación de las acciones realizadas por el sector ambiental en la Cuenca Lerma Chapala*. México: SEMARNAT.
- SEMARNAT. (2013). *Evaluación de las acciones realizadas por el sector ambiental en la cuenca Lerma Chapala*. México: SEMARNAT.
- Sepúlveda, R. T. (2011). *Diseño de modelos de Calidad del Agua mediante el uso de la Percepción Remota*. CDMX: UNAM.

- Song, K., Xu, J., Li, L., & Du, J. (2012). Retrieval of total suspended matter (TMS) and chlorophyll-a (chl-a) concentration from remote-sensing data for drinking water resources. *Environ Monit Assess*, 6, 1449-1470.
- Space Imaging Eurasia. (4 de Febrero de 2007). *Esquema de radiancias medidas desde satélite*. Obtenido de Space Imaging Eurasia: <http://www.crisp.com>
- Subiyanto, S., Ramadhanis, Z., & Baktiar, A. H. ((2018). Integration of Remote Sensing Technology Using Sentinel-2A Satellite images For Fertilization and Water Pollution Analysis in Estuaries Inlet of Semarang Eastern Flood Canal. *E3S Web of Conferences*, 31 (12008), 1-6.
- Sundarabalan, V., Pahlevan, N., Smith, B., Binding, C., Schalles, J., Loisel, H., . . . Boss, E. (2020). Robust algorithm for estimating total suspended solids (TSS) in inland and nearshore coastal waters. *Remote Sensing of Environment*, 246 (11768), 1-18.
- Sutari, C. T., Perk, M. D., & Middelkoop, H. (2020). Estimation of suspended sediment concentrations in the Rhine River using Landsat Satellite Images. *Earth and Environmental Science*, 451 (012079), 1-9.
- Swain, R., & Sahoo, B. (2017). Improving river water quality monitoring using satellite data product and a genetic algorithm processing approach. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 61 (39), 122-149.
- Toming, K., Kutser, T., Laas, A., Sepp, M., Paavel, B., & Nõges, T. (2016). First Experiences in Mapping Lake Water Quality Parameters with Sentinel-2 MSI Imagery. *remote sensing*, 8 (640), 1-14.
- USGS. (2013). Aspectos Técnicos de las Imágenes Landsat. *Remote Sensing*, 1, 4-22.
- USGS. (2013). Aspectos Técnicos de las Imágenes Landsat. *Remote Sensing*, 4-22.
- USGS. (2019). *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook*. Sioux Falls, South Dakota: USGS Science for a changing world.
- Valdivieso, C. E., Valdivieso, R., & Valdivieso, O. A. (2011). *Determinación del tamaño muestral mediante el uso de árboles de decisión*. Bolivia: Universidad Privada Boliviana.
- Valencia, J. L. (2007). *Estudio estadístico de la calidad de las aguas en la Cuenca Orográfica del Río Ebro*. Madrid , ESPAÑA: Universidad Politécnica de Madrid- E.T.S de Ingenieros Agrónomos.
- Valoon, G., & Duffy, J. (2000). *Environmental Chemistry. A Global Perspective*. Nueva York: Oxford.
- Vargas, C. A. (2017). *Evaluación del uso de la teledetección para determinar parámetros de la calidad del agua en el Embalse de la Planta Hidroeléctrica de Cachi*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica- Facultad de Ingeniería.
- Villanueva, S., & Botello, A. V. (1992). *Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mexicano: Una revisión*. México: UNAM.
- Waikato Regional Technical Report. (2017). Remote sensing of Waikato lakes. *Waikato Regional Council Technical Report*, 1-45.

- Walpole, R. E., & Myers, R. H. (1989). *Probabilidad y estadísticas para ingenieros*. España: Interamericana.
- Wang, C., Chen, S., Li, D., Wang, D., Liu, W., & Yang, J. (2017). A Landsat-based model for retrieving total suspended solids concentration of estuaries and coasts in China. *Geoscientific Model Development EGU*, 10, 4347-4365.
- Wang, H., Wang, J., Cui, Y., & Yan, S. (2021). Consistency of Suspended Particulate Matter Concentration in Turbid Water Retrieved from Sentinel-2 MSI and Landsat-8 OLI Sensors. *Sensor*, 21, (1662), 1-15.
- Wang, Q., Song, K., Wen, Z., Shang, Y., Li, S., Fang, C., . . . Liu, G. (2020). Long-term remote sensing of total suspended matter using Landsat series sensors in Hulun Lake, China. *INTERNATIONAL JOURNAL OF REMOTE SENSING*, 4 (42), 1379–1397.
- Wang, X., & Yang, W. (2019). ater quality monitoring and evaluation using remote sensing techniques in China: a systematic review. *Ecosystem Health and Sustainability*, 5(1), 47-56.
- Wibisana, H., Muljo, B., & Lasminto, U. (2020). Mathematical Models Selection on the Total Suspended Solid Mapping using Reflective Satellite Image Data . *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology* , 185-190.
- Wibisana, H., Soekotjo, B. M., & Lasminto, U. (2018). Preliminary Study of Total Suspended Solid Distribution in Coastal Ujung Pangkah Gresik Based Reflectance Value of Landsat Satellite Imagery. *Indonesian Journal of Geography, Indonesia*, 50 (1), 42-48.
- Wisha, U. J., Dhiauddin, R., & Kusumah, G. (2017). Remote Estimation of total suspended solid (TSS) trasport by tidal bore "Bono" of Kampar Big River Estuary using Landsat 8 OLI imagery. *Mar. Res. Indonesia*, 1 (42), 37-45.
- WorldClim. (14 de Septiembre de 2021). *WorldClim*. Obtenido de WorldClim: <https://worldclim.nasa.gov/>
- Wu, G., Liu, L., Chen, F., & Fei, T. (2014). Developing MODIS-based retrieval models of suspended particulate matter concentration in Dongting Lake, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 32, 46-43.
- Xu, J., Gao, C., & Wang , Y. (2020). Extraction of Spatial and Temporal Patterns of Concentrations of Chlorophyll-a and Total Suspended Matter in Poyang Lake Using GF-1 Satellite Data. *Remote Sensing*, 12 (622), 1-21.
- Xu., H., Xu, G., Hu, X., & Wang, Y. (2021). Lockdown effects on total suspended solids concentrations in the Lower Min River (China) during COVID-19 using time-series remote . *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 1-11.
- Xue, J., Lee, C., & Wekeham, S. (2011). Using principal components analysis (PCA) with cluster analysis to study the organic geochemistry of sinking particles in the ocean. *Organic Geochemistry*, 42 (1), 356-367.

- Xue, K., Ma, R., Shen, M., Li, Y., Duan, H., Cao, Z., . . . Xiong, J. (2020). Variations of suspended particulate concentration and composition in Chinese lakes observed from Sentinel-3A OLCI images. *Science of the Total Environment*, 721 (13774), 1-14.
- Yang, J., Ye, M., Jiao, T., Song, X., Pei, Y., & Liu, H. (2020). Using cluster analysis for understanding spatial and temporal patterns and controlling factors of groundwater geochemistry in a regional aquifer. *Journal of hydrology*, 583 (2020), 1-15.
- Yanti, A., Susilo, B., & Wicaksono, P. (2016). The Application of Landsat 8 OLI for Total Suspended Solid (TSS) Mapping in Gajahmungkur Reservoir Wonogiri Regency 2016. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 47 (012028), 1-13.
- Zeinalzadeh, K., & Rezaei, E. (2017). Determining spatial and temporal changes of surface water quality using principal component analysis. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 13, 1-10.
- Zeiny, A., & Kafrawy, S. (2016). Assessment of water pollution induced by human activities in Burullus Lake using Landsat 8 operational land imager and GIS. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 20 (23), 549-556.
- Zhang, Y., & Hallikainen, M. (2007). Water Quality Monitoring Using Remote Sensing in Support of the EU Water Framework Directive (WFD): A Case Study in the Gulf of Finland. *Environ Monit Assess*, 164-177.
- Zhang, Y., Zhang, Y., Shi, K., Zha, Y., Zhou, Y., & Liu, M. (2016). A Landsat 8 OLI-Based, Semianalytical Model for Estimating the Total Suspended Matter Concentration in the Slightly Turbid Xin'anjiang Reservoir (China). *IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN APPLIED EARTH OBSERVATIONS AND REMOTE SENSING*, 1 (9), 398-413.
- Zhao, J., Zhang, F., Chen, S., Wang, C., Chen, J., Zhou, H., & Xue, Y. (2020, 20 (6911)). Remote Sensing Evaluation of Total Suspended Solids Dynamic with Markov Model: A Case Study of Inland Reservoir across Administrative Boundary in South China. *Sensors*, 1-29.
- Zheng, G., & DiGiacomo, P. M. (2017). Uncertainties and applications of satellite-derived coastal water quality products. *Progress in Oceanography*, 159, 45-72.
- Zheng, Z., Li, Y., Guo, Y., Xu, Y., Liu, G., & Du, C. (2015). Landsat-Based Long-Term Monitoring of Total Suspended Matter Concentration Pattern Change in the Wet Season for. *remote sensing*, 7, 13975-13999.
- ZhongPing, L., Shang, S., Hu, c., Du, K., Weidemann, A., Hou, W., . . . Lin, G. (2015). Secchi disk depth: A new theory and mechanistic model for underwater visibility. *Remote Sensing of Environment*, 4 (6), 139-149.
- Zimba, V. (2013). Remote Sensing Techniques to Assess Water Quality. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 694-704.

GLOSARIO

Pigmento: corresponde al componente de las plantas a las cuales de manera general obtienen el color verde de sí mismas.

Lógica paraconsistente: es un sistema lógico que intenta tratar las contradicciones en forma atenuada. Se trata de una teoría que permite trabajar con situaciones y opiniones contradictorias (EcuRed, 2021)

Banda multiespectral: Se le denomina con este término a la información de cierta longitud de onda almacenada en una serie de celdas en formato TIFF (USGS, 2013).

Coefficiente de determinación (R^2): Es un estadístico usado en el contexto de un modelo de regresión, además determina la calidad del modelo para replicar los resultados y la proporción de variación de los resultados que puede explicarse por el modelo, es decir, si las variables independientes explican la variable independiente.

Landsat: Por sus siglas en inglés, LAND=tierra y SAT=satélite. Corresponde al primer satélite enviado por los Estados Unidos para el monitoreo de los recursos terrestres. Inicialmente se le llamó ERTS-1.

disponibles, y esto puede significar la diferencia entre detectar un ajuste lineal o no lineal (Mun, 2012).

Número digital: Valor numérico en cada banda del espectro, corresponde a un número entero que varía en función de la resolución radiométrica con la que trabaja el sensor. Por ejemplo, para 8 bits, el ND en cada píxel puede variar de 0 a 255, completando los 256 posibles valores. Es por eso por lo que puede traducirse a una intensidad visual, a través de su nivel de gris.

Píxel: Elemento pictórico más pequeño de una imagen susceptible a ser procesado (USGS, 2013).

Radiancia: Corresponde al número digital multiplicado por un factor de escala (0.1), medido en $\left(\frac{w}{m^2 \cdot sr \cdot \mu m}\right)$.

Reflectancia: Radiación incidente que es reflejada por una superficie $\left(\frac{w}{m^2 \cdot sr \cdot \mu m}\right)$.

Resolución espectral: Abarca los intervalos de longitud de onda que un sensor puede registrar y está determinado por el número de bandas adquiridas y su ancho de banda medido en micrómetros (μm) o nanómetros (nm; Sepúlveda, 2011).

Resolución espacial: Define el nivel de detalle espacial representado en la imagen y está directamente relacionado con el objeto en tierra más pequeño que sea distinguible como entidad aislada del resto de la imagen (USGS, 2013).

Resolución temporal: Hace referencia al lapso en el cual, un sensor adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre o el que exista entre adquisición constante. El ciclo depende de las características de la órbita del satélite.

Resolución radiométrica: Es la cantidad de energía medida en términos de variaciones de la radiancia espectral. La mayor parte de los sistemas ofrecen 256 niveles por píxel (0 a 255). La interpretación de la imagen será mejor mientras mayor sea la resolución radiométrica (Peterson et al., 2018).

Sinergismo: el término sinergia se define como la acción de una o más sustancias, para lograr un efecto que ninguna de ellas es capaz de producir individualmente. Con la disponibilidad de imágenes de diferentes sensores, frecuencias, resoluciones y temporalidades generadas por diversos satélites para la observación de la tierra (INGEOMINAS, 2005).

Viales de digestión de DQO: Corresponde a los tubos preparados para la determinación de la demanda química de oxígeno (DQO).

Varianza: Es una medida de dispersión definida como la esperanza del cuadrado de la desviación de dicha variable respecto a su media (Walpole & Myers, 1989).

Valores atípicos: Son anomalías en los datos. Pueden tener una gran influencia sobre el ajuste realizado sobre la pendiente y el intercepto, generando un pobre ajuste sobre el conjunto total de datos. Los valores atípicos tienden a incrementar la varianza residual, disminuyendo la probabilidad de rechazar la hipótesis nula. Esto puede deberse a errores de registro, los cuales se pueden corregir, o también debidos a que no todos los valores de la variable dependiente están siendo muestreados de la misma población.

Valores fuera de rango: Corresponde a los píxeles con un $NDWI > 0.1$ y a un valor de reflectancia de $B6 > 0.017 \left(\frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot \mu m} \right)$.

Variación de medias: Diferencia entre promedio para dos poblaciones ($\mu_1 - \mu_2$).

Validación: cruzada: corresponde al promedio de los coeficientes por medio de i iteraciones o i -fold *cross-validation* los datos se dividen en i subconjuntos (*folds*). Uno de los subconjuntos se utiliza como datos de prueba y el resto ($i - 1$) como datos de entrenamiento. El proceso de validación cruzada es repetido durante i iteraciones, con cada uno de los posibles subconjuntos de datos de prueba.

Metadatos: Describen el contenido, calidad, condición, formato, fechas de referencia y en el caso de los datos geográficos, además, información sobre aspectos como cobertura espacial, sistemas de coordenadas y de referencia geodésica, entre otros (IDEAM, 2011)

Filtro: Operador local mediante el cual se obtiene una nueva imagen, cuyos Niveles Digitales (ND) son función de los ND originales y de los de las celdas contiguas. Dependiendo del tipo, se utilizan para suavizar y eliminar ruido, o bien para realzar los rasgos lineales de una imagen.

Giovanni NASA: A partir de estos portales se descargará la información correspondiente a clorofila (Chl-a, NT y profundidad), la resolución espacial de la información corresponde a (90m). y se encuentra de manera global con una temporalidad anual.

Ocean Color WEB: Con base en este portal se descargará la información asociada con la temperatura ambiental de manera global con una resolución a 90 metros.

DayMet: en este portal se descarga la temperatura superficial del cuerpo de agua.

Generación de variables ambientales a partir de modelos de regresiones desarrolladas por otros autores (salinidad, turbiedad, profundidad; (Fenco, 2018; Orjuela, 2019)

Sensores remotos: Los datos a utilizar en el presente proyecto corresponde a los proporcionados por el sensor Landsat y Sentinel 2A, esta información dependerá del modelo encontrado y de las bandas que utiliza para estimar los SST.

Paquetes informáticos: Para el desarrollo de la presente investigación se utilizarán los siguientes softwares informáticos

- TerrSet: a través de este SIG se pretende realizar la calibración y corrección atmosférica de las imágenes de referencia para los cuerpos de aguas encontrados. También será el SIG utilizado para diseñar la interfaz dentro de ella para estimar los SST. En caso de requerir un modelo de atmósfera que no integra TerrSet se apoyará con el software ENVI (Samaniego, 2014).
- Delphi: La programación de la interfaz será orientado a objetos y cada una de las ventanas requeridas se desarrollarán a través del software Delphi, en caso de requerir la asociación de portales de internet se apoyará con el Software Eclipse.
- Excel: este software se utilizará para la elaboración de tablas de variables ambientales

MATERIALES Y RECURSOS

Información de variables ambientales de los CA



Información de reflectancia de los CA



Shapefile de los cuerpos de agua



Reportes y estadísticas

ANEXOS

ANEXO I. Corrección atmosférica

A I.1. Tipos de latitudes para corrección atmosférica bajo FLAASH

Latitud (°N)	Enero	Marzo	Mayo	Julio	Septiembre	Noviembre
80	SAW	SAW	SAW	MLW	MLW	SAW
70	SAW	SAW	MLW	MLW	MLW	SAW
60	MLW	MLW	MLW	SAS	SAS	MLW
50	MLW	MLW	SAS	SAS	SAS	SAS
40	SAS	SAS	SAS	MLS	MLS	SAS
30	MLS	MLS	MLS	T	T	MLS
20	T	T	T	T	T	T
10	T	T	T	T	T	T
0	T	T	T	T	T	T
-10	T	T	T	T	T	T
-20	T	T	T	MLS	MLS	T
-30	MLS	MLS	MLS	MLS	MLS	MLS
-40	SAS	SAS	SAS	SAS	SAS	SAS
-50	SAS	SAS	SAS	MLW	MLW	SAS
-60	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW
-70	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW
-80	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW

Simbología; tropical (T), mid latitud summer (MLS), sub-arctic summer (SAS), Mid latitud Winter (MLW) and Sub-arctic winter (SAW). Fuente: Samaniego, 2014.

A I.2 Tipo de aerosoles en el ambiente

Modelo de aerosoles	
Rural	Aplica para sectores que no están bajo influencia fuerte de coberturas industriales o urbanas, asume que existen dos distribuciones de partículas, gruesas y delgadas, mezcladas en la atmósfera.
Urbano	Este modelo asume que un 80% de las partículas son las mismas que considera el modelo rural y el 20% restante son de partículas similares al hollín.
Marítimo	Se utiliza para los sectores colindantes con áreas costeras o en áreas continentales con gran influencia de vientos marinos, este modelo asume que existen partículas provenientes del mar y otra parte de las partículas pequeñas del modelo rural.
Troposférico	Este modelo se aplica para condiciones de gran nitidez y asume que sólo están presentes las partículas delgadas del modelo rural.

Fuente: Cruz, 2019.

A I.3. Características del modelo FLAASH

Para el modelo FLAASH es posible utilizar el software ENVI (Samaniego, 2014), debido a que trabaja con el método MODTRAN 4 (también integra otros modelos como QUAC, Cost, DOS y AtCor) ajustables para diferentes zonas de estudio (latitud, estación del año, visibilidad de la imagen, contenido de CO₂, entre otros); para el modelo DOS también se puede calcular utilizando el software TerrSet. De esta manera, el modelo simula el comportamiento atmosférico del área de

la escena de acuerdo con las condiciones mencionadas anteriormente (Rodríguez, 2014; Samaniego, 2014; ver AI y A2).

AI.4. Tipos de pigmentos de las algas

	Algas café	Algas rojas	Algas verdes	Diatomeas	Dinoflagelados	Euglenoides
Grupo	<i>Phaeophyta</i>	<i>Rhodophyta</i>	<i>Chlorophyta</i>	<i>Chrysophyta</i>	<i>Pyrrophyta</i>	<i>Euglenophyta</i>
Color	Café	Roja	Verde	Doradas-café	Café	Verde
Morfología	Filamentosa a frondosa, ocasionalmente parecida a las plantas	Unicelular, filamentosa a frondosa	Unicelular a frondosa	Unicelular	Unicelular	Unicelular, flagelados
Pigmentos	Clorofilas a y c, xantofilas	Clorofilas a y d, ficocianina y ficoeritrina	Clorofilas a y b	Clorofilas a, y c	Clorofilas a y c xantófilas	Clorofilas a y b
Pared celular	Celulosa	Celulosa	Celulosa	Sílica	Celulosa	No presentan
Materiales de reserva	Laminarina (β -1-3) Manitol	Almidón ramificado (α -1-4 y -1-6)	Almidón (α -1-4) Sacarosa	Lípidos	Almidón (α -1-4)	Paramilón (β -1-2)
Hábitat mayor	Marino	Marino	Agua dulce, suelos y algunas marino	Agua dulce, marino y suelos	Principalmente marino	Agua dulce y algunas marino

Simbología: tipos de pigmentos (a,b,c,d), unicelular (una célula; INECOL, 2010)

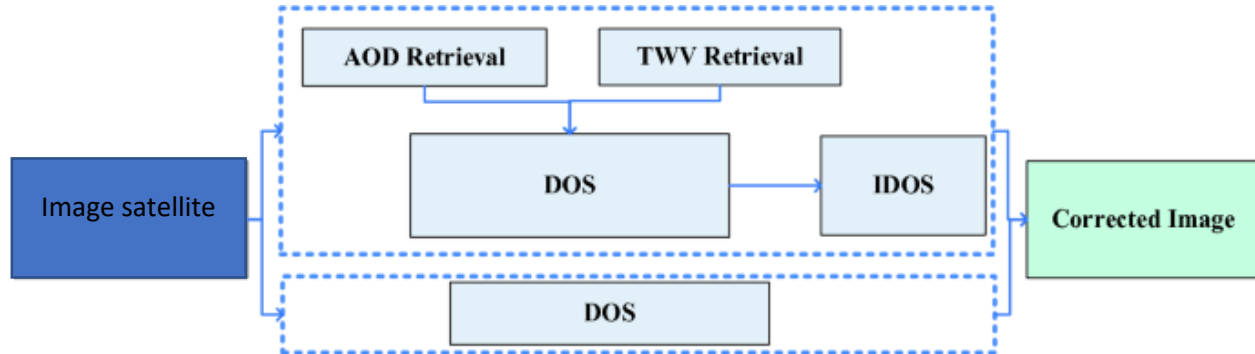
ANEXO II. Características para la corrección atmosférica tipo FLAASH

NOTA: en caso de que se conozca la presión y humedad atmosférica es recomendable utilizar el modelo de atmósfera basado en el vapor de agua y temperatura del aire en superficie (estas técnicas se utilizaron para los cuerpos de agua que utilizaron la corrección atmosférica por el modelo FLAASH)

Modelo de atmósfera	Vapor de agua (std atm-cm)	Vapor de agua (g/cm ²)	Temperatura del aire en superficie
Sub-Arctic Winter (SAW)	518	0.42	-16° C (3° F)
Mid-Latitude Winter (MLW)	1060	0.85	-1° C (30° F)
U.S. Standard (US)	1762	1.42	15° C (59° F)
Sub-Arctic Summer (SAS)	2589	2.08	14° C (57° F)
Mid-Latitude Summer (MLS)	3636	2.92	21° C (70° F)
Tropical (T)	5119	4.11	27° C (80° F)

Fuente: Samaniego (2014).

ANEXO III. Características de la corrección atmosférica tipo DOS



ANEXO IV. Manipulación de datos con Real Near Time of Data

Manipulación de datos MODIS desde WorldWiew

A partir de los algoritmos de Google Earth Engine se pueden extraer información de reflectancia (algoritmo 1) de diferentes escenas de un cuerpo de agua y facilita la descarga de información necesaria para el modelo continental. Sin embargo, es importante identificar las fechas de las imágenes ya que algunos modelos de regresión no permiten generar estimaciones en todos los meses del año

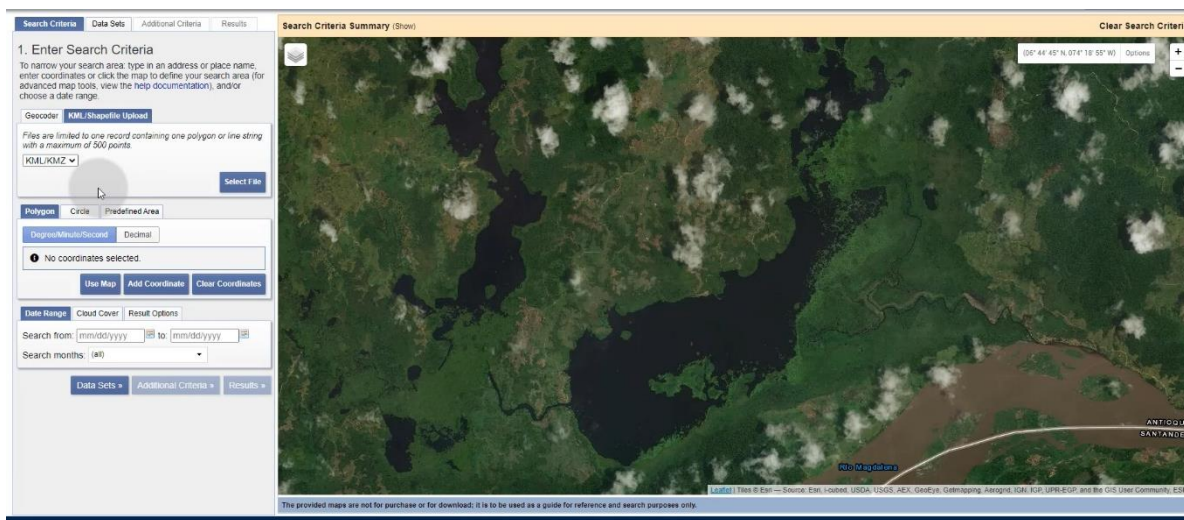
```

# Gestion de nuevas columnas para mysql
new_mysql_event_df=get_events_jdbc_dataframe_reader(numPartitions=40) \
.option("lowerBound", "changed") \
.option("partitionColum", max_changed_from_base) \
.option("upperBound", max_changed_from_mysql) \
.load() \
.filter(F.col('changed') >= F.lit(max_changed_from_base))
#union de las columnas con la base de la tabla
Updated_df= base_events_df \
.union(new_mysql_events_df) \
.orderBy("/ID", F.col("changed").desc()) \
.dropDuplicates(["id"])
  
```


RMS									
06/05/05d									
VLC	18.3	17.9	0.4	18.3	0	17.4	0.9	0.9	0
TRG	15.7	15.8	-0.1	16.4	-0.7	15.3	0.4	16.3	-0.6
media	17	16.85	0.15	17.35	-0.35	16.35	0.65	17.3	-0.3
RMS			0.29		0.49		0.94		0.45
06/05/05n									
VLC	18.5	18.6	-0.1	19	-0.5	18.1	0.4	19	-0.5
TRG	15.6	15.5	0.1	15.9	-0.3	15.1	0.5	15.8	-0.2
ALB	16.3	16.1	0.2	16.6	-0.3	15.6	0.7	16.6	-0.3
CAD	18.3	17.1	1.2	17.7	0.6	16.6	1.7	17.7	0.6
media	17.17	16.82	0.35	17.3	-0.125	16.35	0.825	17.27	-0.1
RMS			0.61		0.44		0.97		0.43
Media total del día	16.99	16.54	0.45	16.99	0	16.05	0.94	16.97	0.14
RMS total			0.62		0.44		1.03		0.39

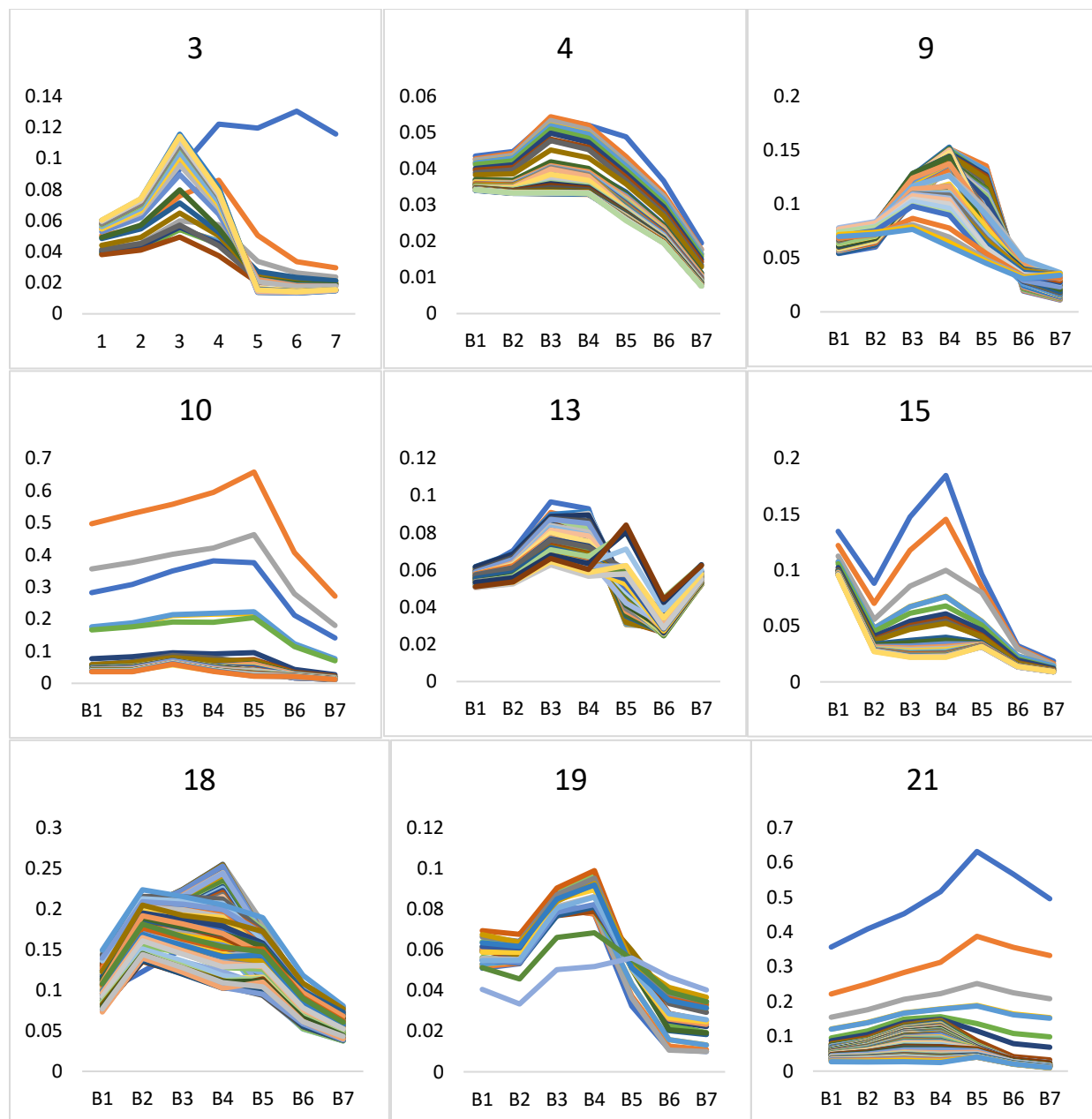
Simbología: Comparación entre la temperatura de las boyas y la Tsm por satélite, día 06/05/2005 (Tsmq = Tsmquad, Lang = Lannion general, ΔBT = diferencia tª boyas y satélite, RMS = error medio cuadrático).

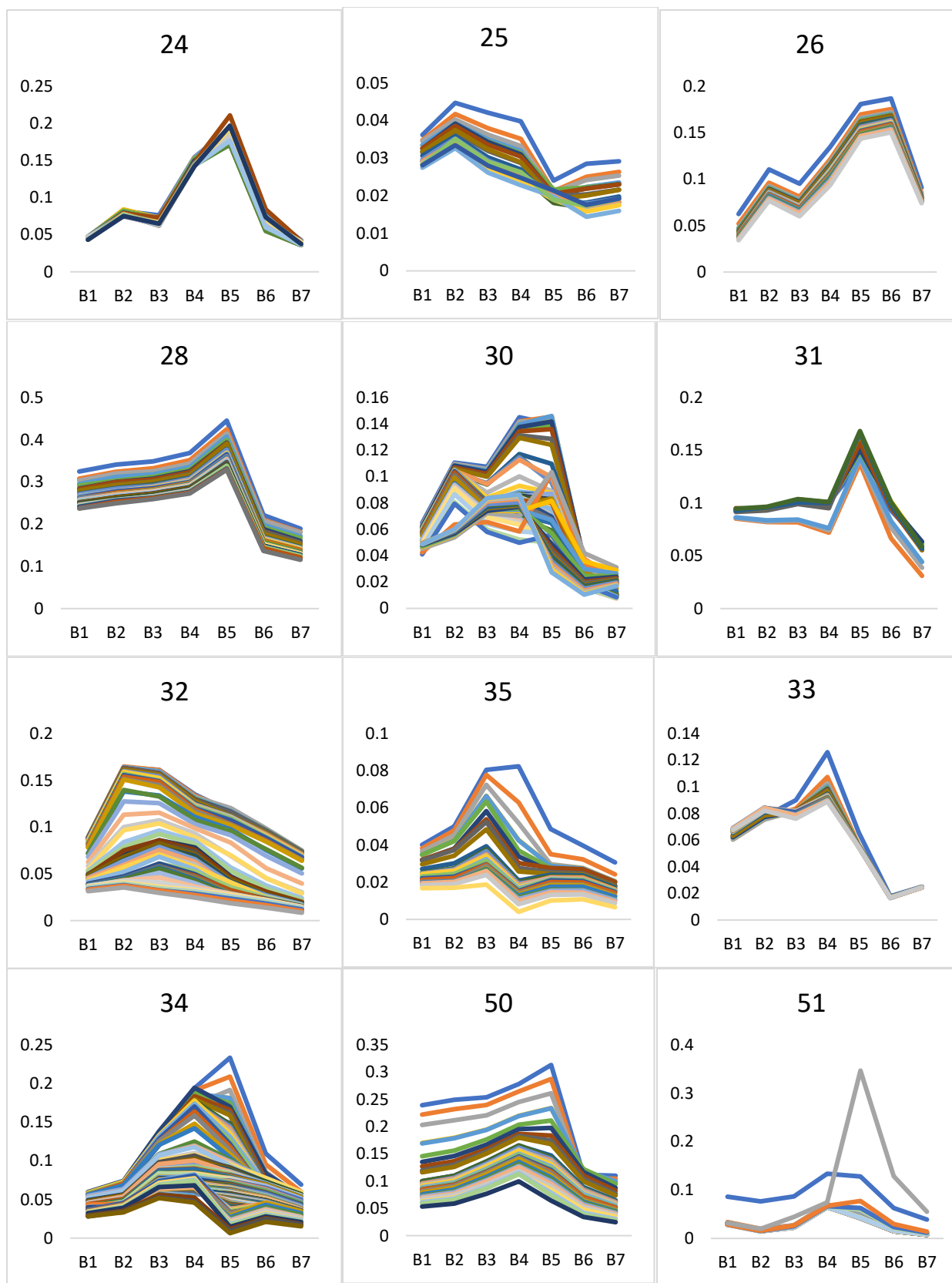
ANEXO VII. Niveles de información de los modelos de temperatura a través del sensor MODIS-AQUA

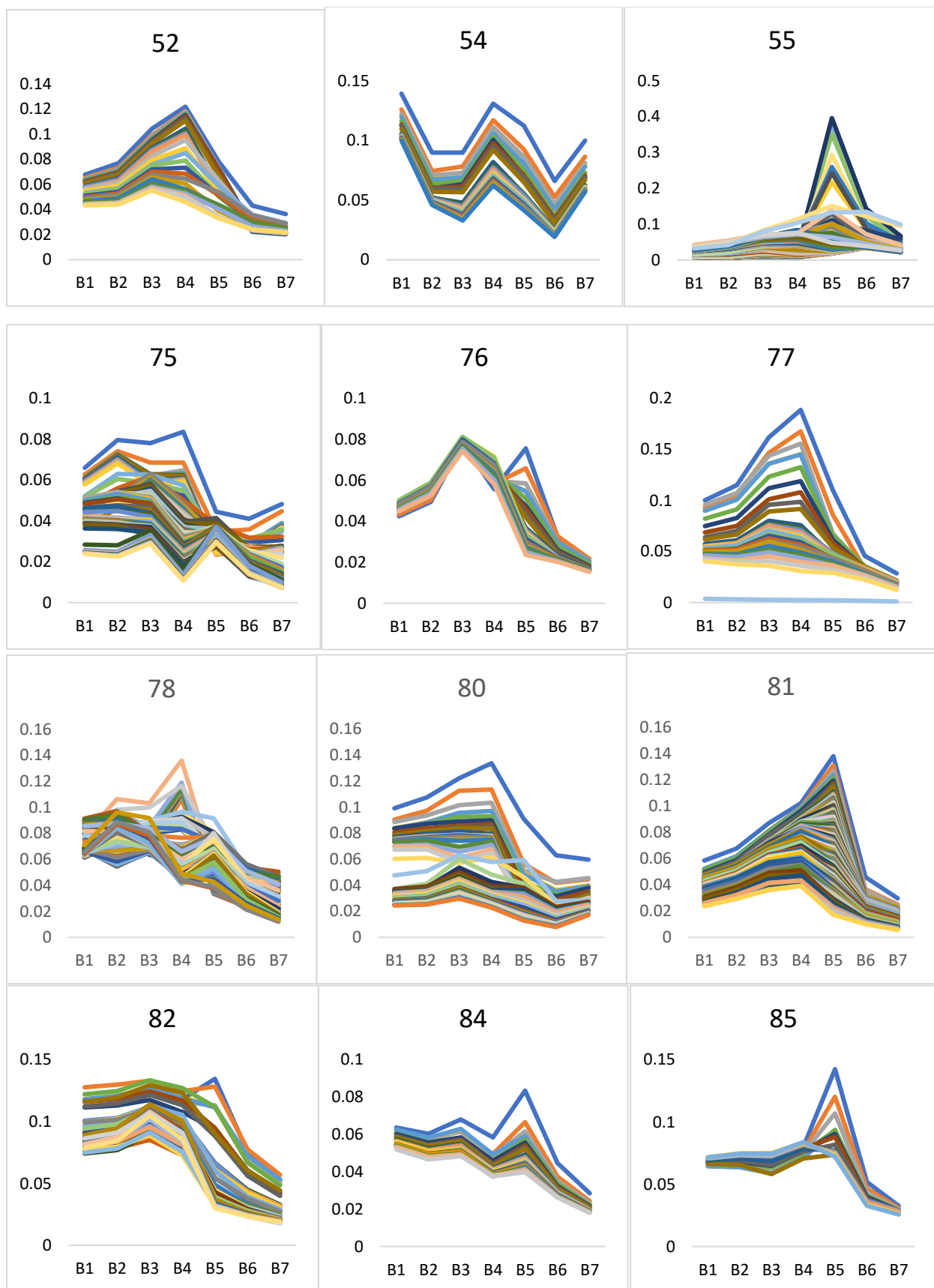


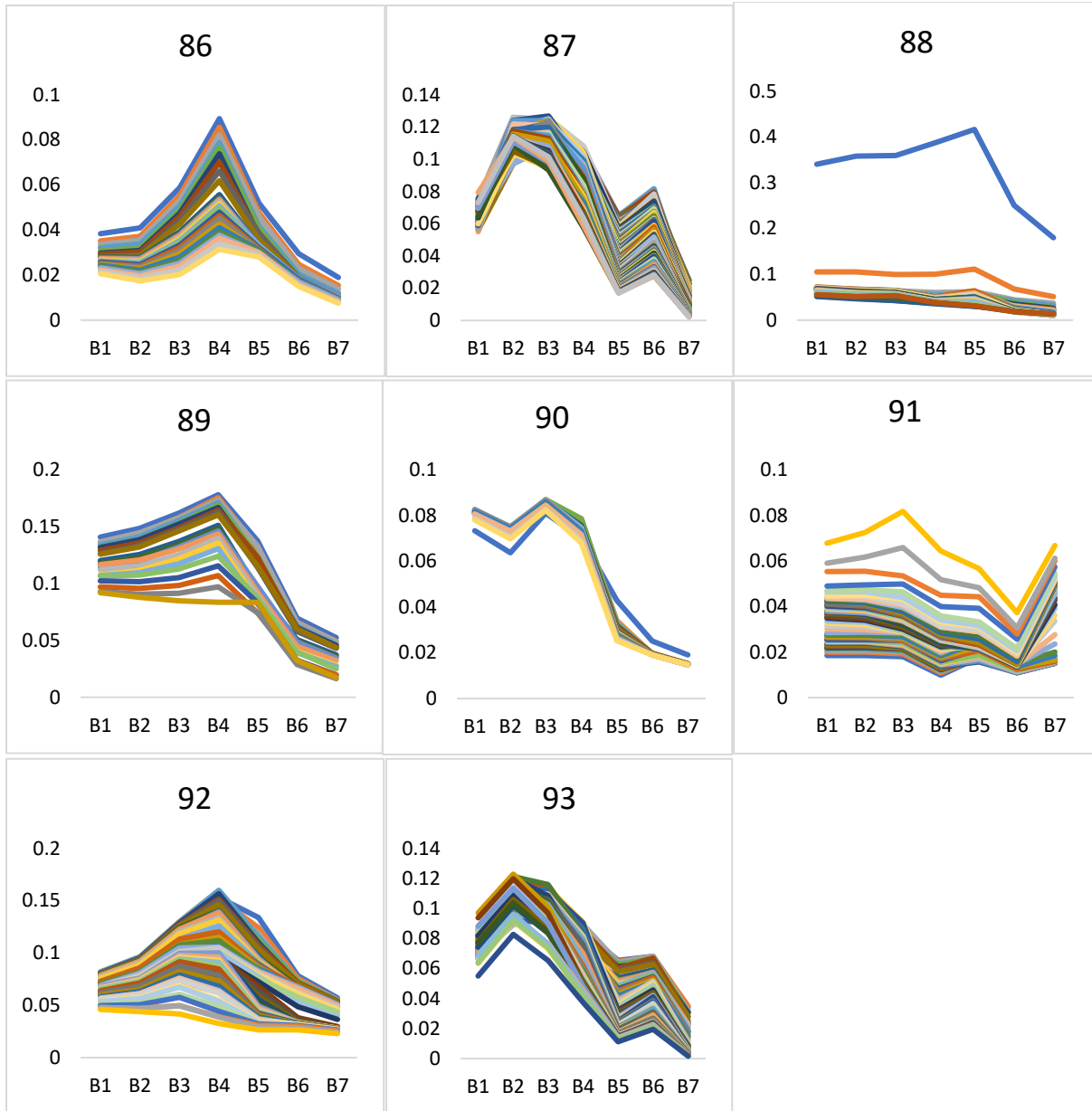
Simbología: Apartado de descarga de los datos de temperatura superficial del agua de MODIS (LPDDAA 1).

ANEXO VIII. FIRMAS ESPECTRALES ESTRATIFICADAS POR CUERPO DE AGUA CONSIDERADO EN EL ESTUDIO









ANEXO IX. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL Y DISPERSIÓN POR CA

IDMUN	B1Mean	B1Min	B1Max	B1StDev	B1CV	B1Var	B1Range	B1Per25	B1Perc75	n	B2Mean	B2Min	B2Max	B2StDev	B2CV	B2Var	B2Range	B2Perc25	B2Perc75	n
3	0.0516	0.0233	0.1006	0.0111	0.2159	0.0001	0.0774	0.0418	0.0608	1535	0.0605	0.0229	0.1198	0.0152	0.2517	0.0002	0.0968	0.0469	0.0734	1535
4	0.0360	0.0317	0.0520	0.0027	0.0747	0.0000	0.0203	0.0343	0.0367	2887	0.0357	0.0302	0.0527	0.0034	0.0955	0.0000	0.0225	0.0334	0.0368	2887
9	0.0664	0.0307	0.1799	0.0103	0.1555	0.0001	0.1492	0.0579	0.0734	6022	0.0736	0.0328	0.1869	0.0106	0.1440	0.0001	0.1541	0.0655	0.0809	6022
10	0.0665	0.0242	0.9340	0.1025	1.5412	0.0105	0.9098	0.0404	0.0481	2977	0.0707	0.0227	1.0000	0.1088	1.5384	0.0118	0.9773	0.0406	0.0526	2977
13	0.0565	0.0332	0.0717	0.0063	0.1109	0.0000	0.0385	0.0518	0.0623	4506	0.0621	0.0337	0.0861	0.0072	0.1165	0.0001	0.0524	0.0553	0.0679	4506
15	0.1008	0.0850	0.2012	0.0090	0.0892	0.0001	0.1162	0.0962	0.1008	1545	0.0363	0.0159	0.1697	0.0139	0.3842	0.0002	0.1538	0.0283	0.0372	1545
18	0.1078	0.0108	0.8267	0.0607	0.5629	0.0037	0.8159	0.0731	0.1216	14552	0.1732	0.0712	0.9759	0.0626	0.3613	0.0039	0.9047	0.1429	0.1910	14552
19	0.0573	0.0277	0.0948	0.0132	0.2302	0.0002	0.0671	0.0487	0.0654	1396	0.0557	0.0221	0.0911	0.0140	0.2504	0.0002	0.0690	0.0488	0.0657	1396
21	0.0591	0.0175	0.5395	0.0361	0.6119	0.0013	0.5220	0.0443	0.0656	5999	0.0725	0.0213	0.6096	0.0416	0.5740	0.0017	0.5883	0.0525	0.0826	5999
24	0.0452	0.0431	0.0473	0.0017	0.0382	0.0000	0.0042	0.0438	0.0470	31	0.0777	0.0742	0.0839	0.0029	0.0368	0.0000	0.0097	0.0756	0.0789	31
25	0.0310	0.0241	0.0440	0.0040	0.1274	0.0000	0.0199	0.0282	0.0330	2170	0.0370	0.0290	0.0626	0.0051	0.1370	0.0000	0.0336	0.0330	0.0392	2170
26	0.0416	0.0219	0.1411	0.0073	0.1743	0.0001	0.1192	0.0380	0.0434	1527	0.0862	0.0662	0.2542	0.0083	0.0962	0.0001	0.1880	0.0827	0.0885	1527
28	0.2631	0.2111	0.3452	0.0216	0.0821	0.0005	0.1341	0.2479	0.2749	2434	0.2762	0.2242	0.3585	0.0223	0.0808	0.0005	0.1343	0.2607	0.2888	2434
30	0.0554	0.0301	0.0741	0.0066	0.1194	0.0000	0.0440	0.0501	0.0605	3756	0.0921	0.0327	0.1166	0.0195	0.2114	0.0004	0.0839	0.0799	0.1052	3756
31	0.0916	0.0853	0.0951	0.0036	0.0390	0.0000	0.0098	0.0890	0.0941	12	0.0920	0.0820	0.0966	0.0057	0.0614	0.0000	0.0145	0.0883	0.0954	12
32	0.0613	0.0245	0.0957	0.0224	0.3659	0.0005	0.0712	0.0388	0.0847	3030	0.1025	0.0267	0.1772	0.0538	0.5250	0.0029	0.1505	0.0464	0.1591	3030
33	0.0655	0.0531	0.0885	0.0046	0.0697	0.0000	0.0355	0.0622	0.0687	1512	0.0809	0.0631	0.1150	0.0055	0.0675	0.0000	0.0519	0.0772	0.0844	1512
34	0.0408	0.0092	0.0972	0.0131	0.3205	0.0002	0.0880	0.0312	0.0487	7560	0.0474	0.0111	0.1141	0.0158	0.3327	0.0002	0.1030	0.0366	0.0540	7560
35	0.0262	0.0135	0.0594	0.0074	0.2833	0.0001	0.0459	0.0208	0.0304	1531	0.0294	0.0130	0.0757	0.0106	0.3602	0.0001	0.0626	0.0214	0.0351	1531
50	0.1052	0.0365	0.2608	0.0454	0.4313	0.0021	0.2244	0.0746	0.1176	1684	0.1142	0.0383	0.2710	0.0461	0.4032	0.0021	0.2326	0.0830	0.1277	1684
51	0.0309	0.0259	0.4559	0.0171	0.5534	0.0003	0.4300	0.0291	0.0306	3008	0.0171	0.0120	0.4648	0.0181	1.0597	0.0003	0.4527	0.0151	0.0166	3008
52	0.0554	0.0375	0.0792	0.0074	0.1343	0.0001	0.0417	0.0483	0.0617	1530	0.0604	0.0372	0.0914	0.0099	0.1639	0.0001	0.0542	0.0512	0.0687	1530
54	0.1094	0.0961	0.1898	0.0105	0.0962	0.0001	0.0937	0.1020	0.1142	1291	0.0564	0.0430	0.1507	0.0116	0.2053	0.0001	0.1077	0.0482	0.0610	1291
55	0.0185	0.0074	0.0426	0.0080	0.4325	0.0001	0.0352	0.0103	0.0259	161	0.0229	0.0067	0.0545	0.0120	0.5227	0.0001	0.0479	0.0110	0.0353	161
74	0.0446	0.0303	0.0591	0.0044	0.0978	0.0000	0.0288	0.0420	0.0478	6834	0.0609	0.0299	0.0893	0.0132	0.2165	0.0002	0.0594	0.0491	0.0727	6834
75	0.0426	0.0227	0.0868	0.0139	0.3268	0.0002	0.0641	0.0274	0.0558	5661	0.0468	0.0212	0.0926	0.0162	0.3462	0.0003	0.0714	0.0375	0.0595	5661
76	0.0471	0.0335	0.0741	0.0043	0.0912	0.0000	0.0406	0.0445	0.0492	1450	0.0553	0.0366	0.0843	0.0053	0.0955	0.0000	0.0477	0.0523	0.0582	1450
77	0.0605	0.0333	0.1790	0.0184	0.3038	0.0003	0.1457	0.0489	0.0652	1533	0.0642	0.0298	0.1923	0.0222	0.3455	0.0005	0.1625	0.0499	0.0708	1533
78	0.0722	0.0497	0.4343	0.0165	0.2278	0.0003	0.3846	0.0633	0.0761	9723	0.0820	0.0324	0.4792	0.0221	0.2692	0.0005	0.4469	0.0708	0.0940	9723
80	0.0544	0.0227	0.1495	0.0248	0.4560	0.0006	0.1268	0.0295	0.0758	2985	0.0566	0.0227	0.1605	0.0255	0.4500	0.0006	0.1378	0.0310	0.0780	2985
81	0.0410	0.0058	0.1108	0.0128	0.3114	0.0002	0.1050	0.0313	0.0493	10631	0.0488	0.0083	0.1207	0.0133	0.2728	0.0002	0.1123	0.0395	0.0577	10631
82	0.0915	0.0402	0.3003	0.0363	0.3970	0.0013	0.2602	0.0578	0.1159	2773	0.0945	0.0393	0.3067	0.0378	0.3997	0.0014	0.2674	0.0589	0.1189	2773
84	0.0570	0.0372	0.0775	0.0044	0.0769	0.0000	0.0403	0.0545	0.0587	1493	0.0521	0.0336	0.0745	0.0048	0.0914	0.0000	0.0408	0.0493	0.0544	1493
85	0.0680	0.0604	0.0836	0.0040	0.0585	0.0000	0.0232	0.0648	0.0712	980	0.0689	0.0577	0.0875	0.0061	0.0882	0.0000	0.0298	0.0636	0.0743	980
86	0.0272	0.0162	0.0512	0.0042	0.1557	0.0000	0.0350	0.0246	0.0293	1570	0.0267	0.0128	0.0555	0.0057	0.2149	0.0000	0.0427	0.0229	0.0298	1570
87	0.0611	0.0185	0.1266	0.0201	0.3282	0.0004	0.1081	0.0466	0.0713	9802	0.1132	0.0245	0.1793	0.0307	0.2715	0.0009	0.1548	0.0981	0.1366	9802
88	0.0711	0.0399	0.7609	0.0553	0.7777	0.0031	0.7210	0.0515	0.0734	2358	0.0669	0.0346	0.8248	0.0593	0.8863	0.0035	0.7902	0.0481	0.0683	2358
89	0.1176	0.0662	0.1763	0.0184	0.1563	0.0003	0.1101	0.1059	0.1307	1254	0.1218	0.0595	0.1833	0.0208	0.1704	0.0004	0.1238	0.1090	0.1375	1254
90	0.0809	0.0610	0.0882	0.0049	0.0611	0.0000	0.0272	0.0796	0.0842	1543	0.0730	0.0473	0.0814	0.0060	0.0817	0.0000	0.0341	0.0714	0.0770	1543
91	0.0337	0.0159	0.0871	0.0110	0.3253	0.0001	0.0711	0.0244	0.0408	3065	0.0335	0.0159	0.0888	0.0111	0.3316	0.0001	0.0729	0.0244	0.0399	3065
92	0.0675	0.0353	0.0961	0.0129	0.1905	0.0002	0.0607	0.0571	0.0771	3064	0.0764	0.0344	0.1174	0.0182	0.2388	0.0003	0.0830	0.0621	0.0904	3064
93	0.0750	0.0267	0.1443	0.0205	0.2735	0.0004	0.1176	0.0599	0.0955	5148	0.1088	0.0463	0.2697	0.0230	0.2117	0.0005	0.2234	0.0908	0.1287	5148

Continuación...

IDMUN	B3Mean	B3Min	B3Max	B3StDev	B3CV	B3Var	B3Range	B3Perc25	B3Perc75	n	B4Mean	B4Minimum	B4Max	B4StDev	B4CV	B4Var	B4Range	B4Perc25	B4Perc5	n
3	0.0879	0.0221	0.1867	0.0294	0.3346	0.0009	0.1646	0.0594	0.1149	1535	0.0664	0.0179	0.2681	0.0278	0.4189	0.0008	0.2501	0.0395	0.0859	1535
4	0.0388	0.0284	0.0644	0.0072	0.1863	0.0001	0.0361	0.0336	0.0440	2887	0.0376	0.0274	0.0660	0.0062	0.1635	0.0000	0.0386	0.0334	0.0410	2887
9	0.1083	0.0399	0.1774	0.0160	0.1474	0.0003	0.1375	0.0979	0.1183	6022	0.1256	0.0371	0.2084	0.0249	0.1985	0.0006	0.1713	0.1081	0.1442	6022
10	0.0907	0.0201	1.0000	0.1102	1.2150	0.0122	0.9799	0.0618	0.0737	2977	0.0759	0.0176	1.0000	0.1210	1.5940	0.0146	0.9824	0.0412	0.0541	2977
13	0.0795	0.0370	0.1237	0.0110	0.1378	0.0001	0.0867	0.0708	0.0869	4506	0.0753	0.0298	0.1335	0.0171	0.2274	0.0003	0.1037	0.0610	0.0894	4506
15	0.0425	0.0152	0.2599	0.0291	0.6860	0.0008	0.2447	0.0240	0.0481	1545	0.0472	0.0120	0.2638	0.0371	0.7860	0.0014	0.2518	0.0245	0.0542	1545
18	0.1765	0.0530	0.9670	0.0633	0.3586	0.0040	0.9140	0.1503	0.1970	14552	0.1749	0.0328	1.0000	0.0743	0.4245	0.0055	0.9672	0.1416	0.2011	14552
19	0.0791	0.0387	0.1180	0.0169	0.2132	0.0003	0.0793	0.0695	0.0928	1396	0.0831	0.0398	0.1223	0.0209	0.2513	0.0004	0.0825	0.0687	0.1026	1396
21	0.0978	0.0200	0.6848	0.0491	0.5016	0.0024	0.6647	0.0685	0.1161	5999	0.1018	0.0172	0.7775	0.0575	0.5648	0.0033	0.7603	0.0664	0.1262	5999
24	0.0665	0.0622	0.0762	0.0038	0.0573	0.0000	0.0140	0.0639	0.0699	31	0.1463	0.1422	0.1546	0.0039	0.0270	0.0000	0.0124	0.1435	0.1471	31
25	0.0318	0.0233	0.0582	0.0053	0.1670	0.0000	0.0349	0.0280	0.0342	2170	0.0286	0.0187	0.0573	0.0060	0.2095	0.0000	0.0386	0.0241	0.0313	2170
26	0.0711	0.0483	0.2239	0.0084	0.1185	0.0001	0.1756	0.0674	0.0740	1527	0.1091	0.0811	0.2451	0.0099	0.0906	0.0001	0.1640	0.1043	0.1139	1527
28	0.2846	0.2404	0.3628	0.0205	0.0722	0.0004	0.1224	0.2697	0.2956	2434	0.3001	0.2658	0.3819	0.0213	0.0711	0.0005	0.1161	0.2842	0.3114	2434
30	0.0821	0.0359	0.1113	0.0115	0.1402	0.0001	0.0754	0.0763	0.0858	3756	0.0904	0.0266	0.1484	0.0231	0.2555	0.0005	0.1218	0.0779	0.0909	3756
31	0.0974	0.0819	0.1038	0.0087	0.0891	0.0001	0.0219	0.0917	0.1032	12	0.0930	0.0719	0.1008	0.0116	0.1243	0.0001	0.0289	0.0857	0.1005	12
32	0.1045	0.0220	0.1714	0.0472	0.4512	0.0022	0.1494	0.0601	0.1532	3030	0.0865	0.0189	0.1353	0.0375	0.4339	0.0014	0.1164	0.0494	0.1242	3030
33	0.0807	0.0608	0.1148	0.0043	0.0534	0.0000	0.0541	0.0787	0.0827	1512	0.0956	0.0850	0.1673	0.0075	0.0785	0.0001	0.0823	0.0914	0.0975	1512
34	0.0828	0.0380	0.1912	0.0280	0.3378	0.0008	0.1531	0.0642	0.0900	7560	0.0907	0.0304	0.2637	0.0460	0.5072	0.0021	0.2332	0.0603	0.0981	7560
35	0.0416	0.0156	0.1145	0.0175	0.4213	0.0003	0.0989	0.0284	0.0513	1531	0.0242	0.0020	0.1032	0.0168	0.6942	0.0003	0.1012	0.0140	0.0277	1531
50	0.1358	0.0467	0.2770	0.0427	0.3143	0.0018	0.2303	0.1062	0.1521	1684	0.1629	0.0612	0.3040	0.0432	0.2653	0.0019	0.2428	0.1328	0.1810	1684
51	0.0249	0.0194	0.4933	0.0192	0.7716	0.0004	0.4738	0.0220	0.0239	3008	0.0670	0.0617	0.5690	0.0204	0.3040	0.0004	0.5073	0.0644	0.0659	3008
52	0.0810	0.0460	0.1262	0.0149	0.1838	0.0002	0.0802	0.0673	0.0937	1530	0.0899	0.0373	0.1692	0.0254	0.2821	0.0006	0.1320	0.0648	0.1125	1530
54	0.0516	0.0290	0.1222	0.0150	0.2907	0.0002	0.0932	0.0392	0.0618	1291	0.0853	0.0567	0.1726	0.0183	0.2141	0.0003	0.1158	0.0699	0.0982	1291
55	0.0361	0.0088	0.0819	0.0191	0.5279	0.0004	0.0731	0.0181	0.0541	161	0.0411	0.0074	0.1139	0.0264	0.6419	0.0007	0.1065	0.0161	0.0625	161
74	0.0816	0.0311	0.1174	0.0155	0.1900	0.0002	0.0863	0.0706	0.0958	6834	0.0662	0.0279	0.1092	0.0116	0.1753	0.0001	0.0813	0.0623	0.0730	6834
75	0.0475	0.0236	0.1035	0.0127	0.2679	0.0002	0.0799	0.0370	0.0574	5661	0.0337	0.0082	0.1072	0.0173	0.5119	0.0003	0.0990	0.0202	0.0434	5661
76	0.0792	0.0492	0.1123	0.0047	0.0592	0.0000	0.0631	0.0764	0.0822	1450	0.0647	0.0337	0.0969	0.0086	0.1333	0.0001	0.0632	0.0587	0.0708	1450
77	0.0825	0.0263	0.2303	0.0328	0.3971	0.0011	0.2040	0.0607	0.0958	1533	0.0821	0.0227	0.2441	0.0403	0.4914	0.0016	0.2214	0.0540	0.0981	1533
78	0.0741	0.0419	0.6380	0.0176	0.2373	0.0003	0.5962	0.0657	0.0791	9723	0.0669	0.0212	0.8541	0.0294	0.4398	0.0009	0.8329	0.0459	0.0835	9723
80	0.0617	0.0253	0.1644	0.0235	0.3808	0.0006	0.1391	0.0402	0.0800	2985	0.0578	0.0216	0.1747	0.0279	0.4822	0.0008	0.1531	0.0300	0.0783	2985
81	0.0639	0.0166	0.1396	0.0161	0.2528	0.0003	0.1229	0.0544	0.0733	10631	0.0740	0.0141	0.1445	0.0197	0.2659	0.0004	0.1305	0.0592	0.0872	10631
82	0.1057	0.0390	0.2986	0.0419	0.3961	0.0018	0.2596	0.0647	0.1365	2773	0.0941	0.0265	0.3080	0.0482	0.5120	0.0023	0.2815	0.0464	0.1267	2773
84	0.0545	0.0338	0.0857	0.0065	0.1187	0.0000	0.0520	0.0502	0.0575	1493	0.0422	0.0258	0.1025	0.0069	0.1623	0.0000	0.0766	0.0383	0.0445	1493
85	0.0661	0.0474	0.0887	0.0101	0.1522	0.0001	0.0413	0.0568	0.0747	980	0.0769	0.0607	0.0967	0.0085	0.1101	0.0001	0.0361	0.0690	0.0836	980
86	0.0374	0.0149	0.0713	0.0102	0.2736	0.0001	0.0564	0.0301	0.0438	1570	0.0553	0.0249	0.1007	0.0162	0.2919	0.0003	0.0757	0.0436	0.0650	1570
87	0.1172	0.0275	0.2000	0.0274	0.2338	0.0008	0.1725	0.1002	0.1382	9802	0.0907	0.0222	0.2817	0.0313	0.3454	0.0010	0.2595	0.0680	0.1122	9802
88	0.0648	0.0298	0.8422	0.0592	0.9143	0.0035	0.8123	0.0498	0.0659	2358	0.0538	0.0246	0.9153	0.0647	1.2031	0.0042	0.8907	0.0377	0.0517	2358
89	0.1316	0.0541	0.1760	0.0242	0.1837	0.0006	0.1219	0.1177	0.1506	1254	0.1442	0.0409	0.1796	0.0283	0.1960	0.0008	0.1387	0.1310	0.1653	1254
90	0.0855	0.0578	0.0927	0.0042	0.0495	0.0000	0.0348	0.0832	0.0886	1543	0.0738	0.0477	0.0847	0.0056	0.0753	0.0000	0.0370	0.0714	0.0773	1543
91	0.0316	0.0159	0.1018	0.0119	0.3769	0.0001	0.0860	0.0230	0.0359	3065	0.0227	0.0076	0.0967	0.0108	0.4742	0.0001	0.0891	0.0143	0.0268	3065
92	0.0988	0.0314	0.1616	0.0284	0.2877	0.0008	0.1301	0.0790	0.1212	3064	0.1037	0.0243	0.1800	0.0407	0.3923	0.0017	0.1557	0.0692	0.1356	3064
93	0.1005	0.0386	0.3709	0.0229	0.2277	0.0005	0.3323	0.0859	0.1154	5148	0.0713	0.0241	0.3342	0.0238	0.3339	0.0006	0.3101	0.0543	0.0850	5148

Continuación...

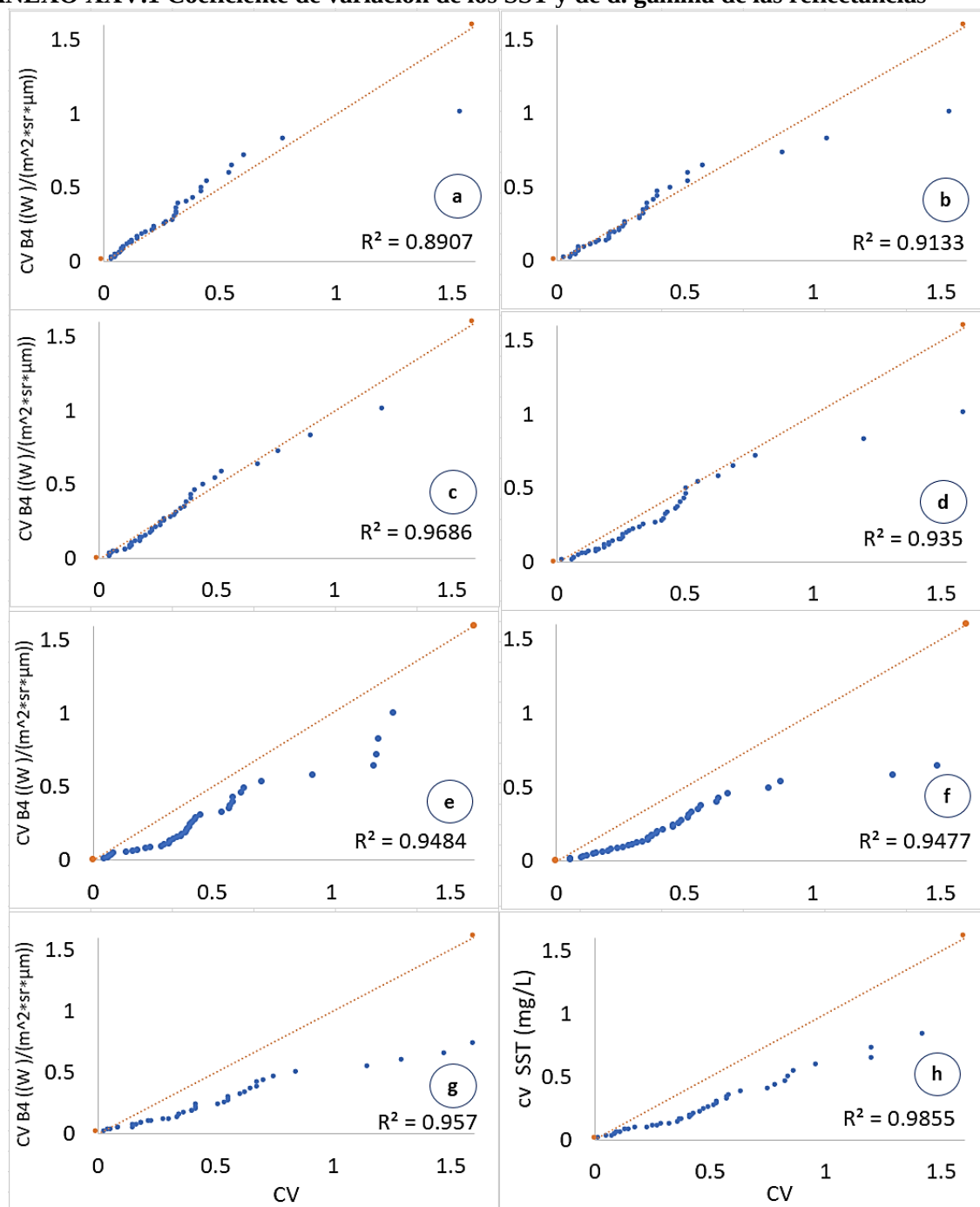
IDMUN	B5Mean	B5Min	B5Max	B5StDev	B5CV	B5Var	B5Range	B5Perc25	B5Per75	n	B6Mean	B6Min	B6Max	B6StDev	B6CV	B6Var	B6Range	B6Perc25	B6Perc75	n
3	0.0238	0.0087	0.3601	0.0286	1.2011	0.0008	0.3514	0.0130	0.0223	1535	0.0217	0.0112	0.4785	0.0351	1.6200	0.0012	0.4672	0.0135	0.0192	1535
4	0.0305	0.0177	0.0616	0.0052	0.1698	0.0000	0.0438	0.0265	0.0327	2887	0.0228	0.0171	0.0513	0.0042	0.1837	0.0000	0.0341	0.0199	0.0239	2887
9	0.0847	0.0300	0.2558	0.0334	0.3940	0.0011	0.2258	0.0557	0.1108	6022	0.0318	0.0129	0.1772	0.0146	0.4587	0.0002	0.1643	0.0227	0.0339	6022
10	0.0715	0.0173	1.0000	0.1372	1.9179	0.0188	0.9827	0.0313	0.0523	2977	0.0406	0.0107	0.7413	0.0872	2.1483	0.0076	0.7306	0.0165	0.0271	2977
13	0.0486	0.0211	0.1486	0.0173	0.3564	0.0003	0.1275	0.0356	0.0557	4506	0.0295	0.0147	0.0831	0.0084	0.2847	0.0001	0.0685	0.0241	0.0313	4506
15	0.0412	0.0265	0.2874	0.0243	0.5888	0.0006	0.2609	0.0318	0.0383	1545	0.0167	0.0000	0.1345	0.0095	0.5653	0.0001	0.1345	0.0134	0.0157	1545
18	0.1331	0.0148	1.0000	0.0830	0.6235	0.0069	0.9852	0.0858	0.1602	14552	0.0780	0.0120	0.7172	0.0523	0.6713	0.0027	0.7052	0.0522	0.0894	14552
19	0.0503	0.0219	0.2533	0.0200	0.3975	0.0004	0.2314	0.0397	0.0573	1396	0.0283	0.0001	0.2121	0.0235	0.8295	0.0006	0.2120	0.0056	0.0444	1396
21	0.0714	0.0339	0.9403	0.0661	0.9248	0.0044	0.9063	0.0486	0.0696	5999	0.0375	0.0000	0.8723	0.0642	1.7103	0.0041	0.8723	0.0186	0.0287	5999
24	0.1853	0.1714	0.2107	0.0087	0.0468	0.0001	0.0393	0.1812	0.1928	31	0.0666	0.0553	0.0841	0.0071	0.1072	0.0001	0.0288	0.0618	0.0705	31
25	0.0202	0.0119	0.0710	0.0076	0.3744	0.0001	0.0591	0.0163	0.0209	2170	0.0197	0.0100	0.0440	0.0052	0.2638	0.0000	0.0340	0.0160	0.0222	2170
26	0.1558	0.1271	0.2506	0.0098	0.0626	0.0001	0.1235	0.1496	0.1613	1527	0.1629	0.1342	0.2675	0.0091	0.0561	0.0001	0.1333	0.1576	0.1677	1527
28	0.3631	0.2783	0.4674	0.0311	0.0857	0.0010	0.1891	0.3401	0.3827	2434	0.1617	0.1148	0.2406	0.0235	0.1452	0.0006	0.1258	0.1434	0.1743	2434
30	0.0798	0.0104	0.2070	0.0345	0.4321	0.0012	0.1966	0.0517	0.0966	3756	0.0229	0.0035	0.0661	0.0121	0.5305	0.0001	0.0626	0.0127	0.0308	3756
31	0.1528	0.1375	0.1683	0.0117	0.0768	0.0001	0.0307	0.1428	0.1660	12	0.0925	0.0667	0.1016	0.0111	0.1196	0.0001	0.0349	0.0880	0.0989	12
32	0.0704	0.0125	0.2238	0.0415	0.5903	0.0017	0.2113	0.0290	0.1102	3030	0.0551	0.0064	0.1217	0.0345	0.6262	0.0012	0.1153	0.0216	0.0908	3030
33	0.0556	0.0481	0.1199	0.0036	0.0653	0.0000	0.0718	0.0547	0.0558	1512	0.0169	0.0151	0.0272	0.0009	0.0547	0.0000	0.0121	0.0164	0.0172	1512
34	0.0737	0.0015	0.2496	0.0421	0.5720	0.0018	0.2481	0.0472	0.0875	7560	0.0549	0.0016	0.1570	0.0186	0.3389	0.0003	0.1555	0.0429	0.0670	7560
35	0.0228	0.0081	0.1065	0.0089	0.3896	0.0001	0.0983	0.0171	0.0263	1531	0.0221	0.0086	0.0690	0.0080	0.3609	0.0001	0.0603	0.0165	0.0257	1531
50	0.1466	0.0343	0.3231	0.0594	0.4053	0.0035	0.2888	0.1058	0.1691	1684	0.0801	0.0168	0.1839	0.0253	0.3159	0.0006	0.1671	0.0613	0.0982	1684
51	0.0520	0.0337	0.6344	0.0613	1.1786	0.0038	0.6007	0.0417	0.0444	3008	0.0191	0.0103	0.3726	0.0251	1.3143	0.0006	0.3623	0.0146	0.0161	3008
52	0.0569	0.0244	0.3103	0.0257	0.4516	0.0007	0.2858	0.0404	0.0685	1530	0.0272	0.0157	0.3242	0.0239	0.8782	0.0006	0.3085	0.0224	0.0251	1530
54	0.0614	0.0369	0.1765	0.0184	0.2997	0.0003	0.1396	0.0473	0.0708	1291	0.0297	0.0155	0.0965	0.0137	0.4592	0.0002	0.0810	0.0187	0.0370	1291
55	0.0600	0.0180	0.3961	0.0715	1.1927	0.0051	0.3781	0.0240	0.0608	161	0.0446	0.0325	0.1435	0.0218	0.4887	0.0005	0.1110	0.0361	0.0409	161
74	0.0432	0.0221	0.1268	0.0139	0.3217	0.0002	0.1047	0.0345	0.0471	6834	0.0165	0.0057	0.0740	0.0086	0.5199	0.0001	0.0683	0.0087	0.0212	6834
75	0.0314	0.0138	0.1044	0.0091	0.2907	0.0001	0.0905	0.0246	0.0352	5661	0.0215	0.0040	0.0759	0.0078	0.3617	0.0001	0.0718	0.0143	0.0265	5661
76	0.0391	0.0184	0.0941	0.0127	0.3241	0.0002	0.0757	0.0304	0.0444	1450	0.0237	0.0193	0.1024	0.0057	0.2419	0.0000	0.0832	0.0207	0.0246	1450
77	0.0510	0.0206	0.3017	0.0214	0.4192	0.0005	0.2811	0.0378	0.0581	1533	0.0319	0.0165	0.2625	0.0120	0.3756	0.0001	0.2460	0.0270	0.0337	1533
78	0.0588	0.0002	0.9113	0.0339	0.5757	0.0011	0.9111	0.0384	0.0722	9723	0.0365	0.0063	0.3899	0.0188	0.5156	0.0004	0.3835	0.0233	0.0456	9723
80	0.0277	0.0107	0.2002	0.0197	0.7106	0.0004	0.1895	0.0154	0.0326	2985	0.0197	0.0064	0.1205	0.0126	0.6359	0.0002	0.1141	0.0134	0.0213	2985
81	0.0707	0.0105	0.1441	0.0262	0.3712	0.0007	0.1336	0.0498	0.0914	10631	0.0239	0.0044	0.0991	0.0114	0.4789	0.0001	0.0947	0.0153	0.0304	10631
82	0.0553	0.0117	0.3245	0.0351	0.6339	0.0012	0.3128	0.0288	0.0729	2773	0.0374	0.0128	0.1945	0.0207	0.5537	0.0004	0.1817	0.0242	0.0419	2773
84	0.0500	0.0282	0.1199	0.0093	0.1859	0.0001	0.0917	0.0438	0.0533	1493	0.0300	0.0190	0.0596	0.0047	0.1570	0.0000	0.0406	0.0270	0.0313	1493
85	0.0853	0.0617	0.1940	0.0207	0.2422	0.0004	0.1322	0.0719	0.0933	980	0.0375	0.0268	0.0679	0.0077	0.2048	0.0001	0.0411	0.0316	0.0410	980
86	0.0345	0.0215	0.1031	0.0077	0.2217	0.0001	0.0815	0.0298	0.0370	1570	0.0185	0.0109	0.0530	0.0040	0.2158	0.0000	0.0421	0.0161	0.0201	1570
87	0.0390	0.0119	0.0657	0.0132	0.3397	0.0002	0.0538	0.0278	0.0493	9802	0.0565	0.0219	0.1119	0.0168	0.2974	0.0003	0.0900	0.0433	0.0683	9802
88	0.0575	0.0148	0.9962	0.0727	1.2626	0.0053	0.9814	0.0276	0.0629	2358	0.0303	0.0138	0.6587	0.0451	1.4883	0.0020	0.6449	0.0179	0.0278	2358
89	0.1036	0.0336	0.2724	0.0334	0.3219	0.0011	0.2388	0.0807	0.1227	1254	0.0498	0.0132	0.1286	0.0187	0.3744	0.0003	0.1154	0.0358	0.0627	1254
90	0.0295	0.0229	0.0984	0.0041	0.1394	0.0000	0.0755	0.0275	0.0310	1543	0.0195	0.0183	0.0537	0.0019	0.0979	0.0000	0.0354	0.0189	0.0195	1543
91	0.0237	0.0074	0.0838	0.0102	0.4291	0.0001	0.0764	0.0170	0.0271	3065	0.0149	0.0048	0.0704	0.0062	0.4188	0.0000	0.0656	0.0112	0.0161	3065
92	0.0714	0.0222	0.1446	0.0293	0.4109	0.0009	0.1224	0.0419	0.0943	3064	0.0506	0.0192	0.1002	0.0201	0.3974	0.0004	0.0811	0.0320	0.0709	3064
93	0.0293	0.0090	0.0657	0.0159	0.5422	0.0003	0.0567	0.0165	0.0408	5148	0.0392	0.0181	0.1113	0.0153	0.3915	0.0002	0.0932	0.0258	0.0505	5148

Continuación...

ID MUN	B7Mean	B7Min	B7Max	B7StDev	B7CV	B7Var	B7Rang	B7Perc25	B7Perc75	n	TSSMean	TSSMin	TSSMax	TSSStdDev	CVTSS	TSSVar	TSSRang	TSSPerc25	TSSPerc75	n
3	0.0212	0.0140	0.4521	0.0313	1.4753	0.0010	0.4381	0.0150	0.0185	1535	2.130	2.016	3.722	0.169	0.079	0.029	1.706	2.040	2.155	1535
4	0.0100	0.0064	0.0273	0.0031	0.3098	0.0000	0.0209	0.0079	0.0107	2887	6.578	4.488	36.777	3.147	0.478	9.902	32.289	4.677	7.020	2887
9	0.0229	0.0062	0.0992	0.0129	0.5609	0.0002	0.0929	0.0130	0.0336	6022	110.448	28.534	218.909	48.259	0.437	2328.949	190.374	69.352	156.943	6022
10	0.0260	0.0085	0.4907	0.0579	2.2282	0.0034	0.4822	0.0122	0.0160	2977	175.512	171.239	186.978	2.682	0.015	7.192	15.739	173.447	176.487	2977
13	0.0549	0.0492	0.0970	0.0052	0.0946	0.0000	0.0479	0.0521	0.0554	4506	2.414	1.773	2.899	0.207	0.086	0.043	1.126	2.233	2.586	4506
15	0.0106	0.0000	0.0706	0.0045	0.4214	0.0000	0.0706	0.0091	0.0102	1545	39.948	22.609	91.413	11.791	0.295	139.017	68.804	31.259	44.785	1545
18	0.0571	0.0061	0.5028	0.0376	0.6586	0.0014	0.4967	0.0362	0.0684	14552	12.240	5.174	33.134	4.423	0.361	19.562	27.960	9.453	14.691	14552
19	0.0251	0.0019	0.1558	0.0188	0.7508	0.0004	0.1539	0.0063	0.0393	1396	65.729	0.024	589.433	93.729	1.426	8785.065	589.409	17.909	63.260	1396
21	0.0269	0.0000	0.8054	0.0602	2.2400	0.0036	0.8054	0.0084	0.0192	5999	4.288	2.521	127.645	3.709	0.865	13.756	125.124	3.356	4.447	5999
24	0.0385	0.0359	0.0423	0.0019	0.0494	0.0000	0.0064	0.0375	0.0400	31	264.410	239.021	320.827	26.063	0.099	679.263	81.806	246.512	268.504	31
25	0.0211	0.0112	0.0414	0.0049	0.2307	0.0000	0.0302	0.0178	0.0235	2170	502.314	0.288	789.320	114.340	0.228	13073.557	789.033	455.742	572.632	2170
26	0.0783	0.0675	0.1180	0.0047	0.0595	0.0000	0.0505	0.0756	0.0800	1527	58.013	43.105	130.271	5.259	0.091	27.653	87.166	55.435	60.538	1527
28	0.1385	0.0948	0.2061	0.0210	0.1515	0.0004	0.1113	0.1222	0.1504	2434	81.429	0.010	321.073	60.891	0.748	3707.758	321.063	35.358	111.919	2434
30	0.0148	0.0000	0.0456	0.0076	0.5128	0.0001	0.0456	0.0078	0.0199	3756	18.591	13.286	24.277	3.236	0.174	10.474	10.991	16.022	22.038	3756
31	0.0536	0.0311	0.0634	0.0101	0.1889	0.0001	0.0324	0.0498	0.0607	12	392.208	139.115	893.768	227.001	0.579	51529.457	754.652	177.740	474.334	12
32	0.0405	0.0039	0.0947	0.0275	0.6797	0.0008	0.0908	0.0144	0.0698	3030	456.867	247.043	608.631	116.565	0.255	13587.301	361.588	341.739	574.139	3030
33	0.0246	0.0230	0.0331	0.0007	0.0303	0.0000	0.0101	0.0241	0.0248	1512	13.679	12.584	20.487	0.747	0.055	0.558	7.903	13.255	13.890	1512
34	0.0398	0.0013	0.0970	0.0138	0.3456	0.0002	0.0957	0.0311	0.0483	7560	39.454	0.000	620.001	72.417	1.835	5244.204	620.001	5.611	32.050	7560
35	0.0159	0.0047	0.0563	0.0067	0.4216	0.0000	0.0515	0.0112	0.0190	1531	7.992	6.714	12.506	0.954	0.119	0.911	5.792	7.416	8.201	1531
50	0.0615	0.0117	0.1216	0.0229	0.3724	0.0005	0.1099	0.0444	0.0746	1684	195.780	43.571	434.947	80.531	0.411	6485.300	391.377	140.432	226.220	1684
51	0.0097	0.0060	0.2529	0.0126	1.2944	0.0002	0.2469	0.0073	0.0083	3008	36.545	34.172	168.940	5.345	0.146	28.571	134.768	35.973	36.535	3008
52	0.0237	0.0159	0.2803	0.0167	0.7043	0.0003	0.2643	0.0203	0.0224	1530	47.286	3.279	172.535	25.219	0.533	635.980	169.256	21.814	69.926	1530
54	0.0665	0.0540	0.1290	0.0125	0.1873	0.0002	0.0750	0.0565	0.0723	1291	107.468	37.798	484.756	56.950	0.530	3243.297	446.957	62.950	139.374	1291
55	0.0282	0.0220	0.0991	0.0114	0.4030	0.0001	0.0770	0.0236	0.0270	161	14.594	0.569	23.918	6.729	0.461	45.281	23.350	8.719	21.373	161
74	0.0157	0.0018	0.0540	0.0107	0.6798	0.0001	0.0522	0.0052	0.0262	6834	228.629	82.640	1089.401	144.962	0.634	21013.862	1006.761	144.322	250.969	6834
75	0.0202	0.0052	0.0796	0.0124	0.6128	0.0002	0.0743	0.0090	0.0340	5661	2.696	0.678	45.596	2.602	0.965	6.772	44.918	1.126	3.026	5661
76	0.0171	0.0146	0.0697	0.0038	0.2240	0.0000	0.0551	0.0156	0.0172	1450	193.555	70.632	688.041	113.109	0.584	12793.709	617.409	120.057	222.890	1450
77	0.0190	0.0081	0.1416	0.0076	0.4002	0.0001	0.1335	0.0157	0.0205	1533	125.360	19.116	711.957	104.753	0.836	10973.263	692.841	57.806	145.397	1533
78	0.0272	0.0055	0.5436	0.0171	0.6263	0.0003	0.5381	0.0159	0.0361	9723	30.786	0.562	195.865	37.025	1.203	1370.874	195.304	7.162	33.337	9723
80	0.0273	0.0160	0.1276	0.0096	0.3528	0.0001	0.1116	0.0207	0.0293	2985	23.930	7.936	310.201	19.919	0.832	396.780	302.265	9.712	30.849	2985
81	0.0162	0.0020	0.0760	0.0090	0.5577	0.0001	0.0740	0.0094	0.0209	10631	187.470	27.887	382.341	69.589	0.371	4842.684	354.454	131.968	242.547	10631
82	0.0276	0.0067	0.1738	0.0154	0.5589	0.0002	0.1671	0.0184	0.0296	2773	21.564	0.011	167.704	25.988	1.205	675.377	167.694	4.766	28.161	2773
84	0.0201	0.0108	0.0423	0.0030	0.1515	0.0000	0.0315	0.0182	0.0210	1493	54.527	24.630	180.166	14.763	0.271	217.933	155.536	45.179	59.035	1493
85	0.0280	0.0217	0.0516	0.0047	0.1666	0.0000	0.0299	0.0247	0.0300	980	0.638	0.004	2.408	0.501	0.786	0.251	2.405	0.246	0.936	980
86	0.0104	0.0041	0.0345	0.0029	0.2837	0.0000	0.0304	0.0086	0.0117	1570	3.908	2.343	5.130	0.520	0.133	0.271	2.787	3.596	4.260	1570
87	0.0081	0.0001	0.0514	0.0069	0.8453	0.0000	0.0513	0.0029	0.0122	9802	488.399	157.498	901.845	185.038	0.379	34239.167	744.347	332.096	622.625	9802
88	0.0206	0.0079	0.5089	0.0330	1.5984	0.0011	0.5010	0.0111	0.0192	2358	38.204	6.936	153.044	19.800	0.518	392.028	146.109	23.764	49.233	2358
89	0.0351	0.0066	0.0833	0.0149	0.4232	0.0002	0.0768	0.0225	0.0462	1254	295.875	21.480	575.240	145.624	0.492	21206.362	553.760	181.772	409.367	1254
90	0.0151	0.0141	0.0403	0.0013	0.0889	0.0000	0.0262	0.0147	0.0151	1543	10.244	3.240	83.252	4.366	0.426	19.065	80.012	8.067	11.765	1543
91	0.0338	0.0132	0.0962	0.0183	0.5408	0.0003	0.0830	0.0153	0.0490	3065	236.449	52.348	466.940	77.298	0.327	5974.937	414.592	177.503	304.613	3065
92	0.0394	0.0146	0.0765	0.0140	0.3554	0.0002	0.0619	0.0270	0.0535	3064	434.309	133.741	881.681	179.185	0.413	32107.415	747.940	253.932	574.682	3064
93	0.0092	0.0000	0.0520	0.0105	1.1486	0.0001	0.0520	0.0022	0.0119	5148	368.132	128.609	901.845	212.353	0.577	45093.940	773.236	205.083	498.327	5148

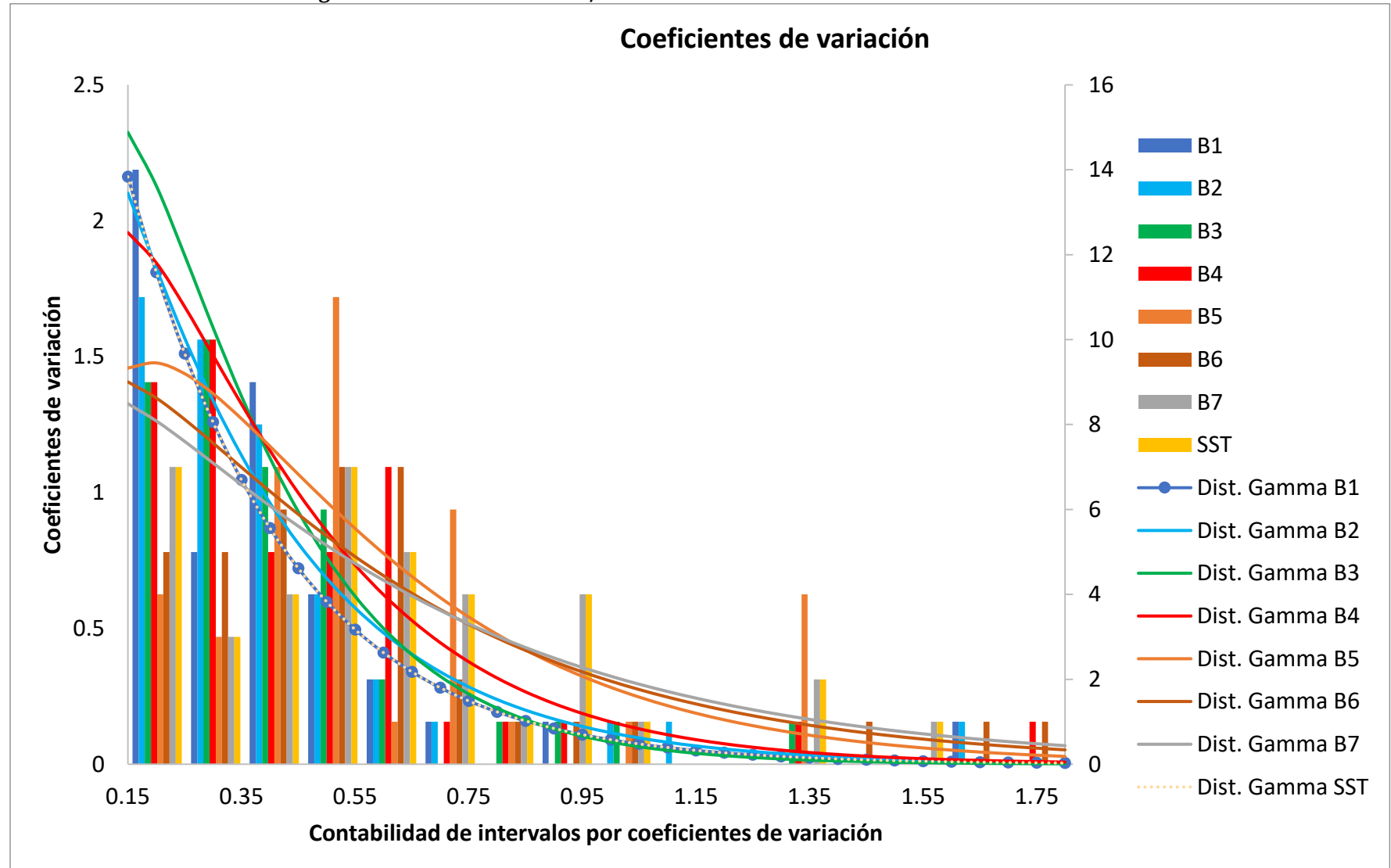
ANEXO X. COEFICIENTES DE VARIACIÓN POR LONGITUD DE ONDA

ANEXO XXV.1 Coeficiente de variación de los SST y de d. gamma de las reflectancias



Simbología: B1 vs SST (a), B2 vs SST (b), B3 vs SST (c), B4 vs SST (d), B5 vs SST (e), B6 vs SST (f), B7 vs SST (g), SSR vs SST (h).

ANEXO XXV.2 Distribuciones gamma de las reflectancias y SST



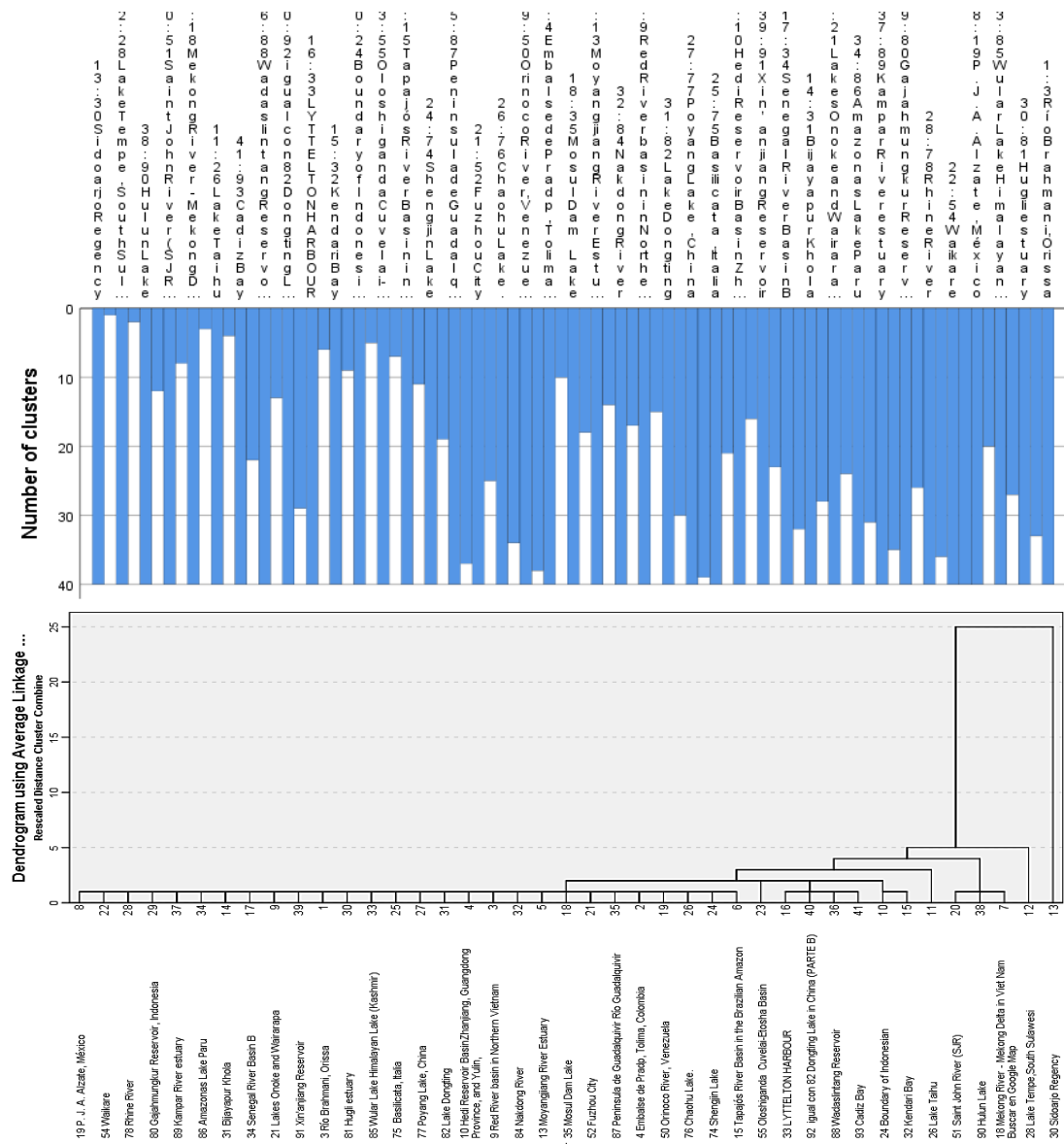
Anexo XI. Estadística para la formación de regiones de reflectancia

	3	4	9	10	13	15	18	19	21	24	26	28	30	31	32	33	34	35	50	51	52	54	55	74	75	76	77	78	80	81	82	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
3	0.0	2.3	3.6	2.5	2.3	3.4	25.9	0.6	1.6	15.5	13.3	30.0	168.4	1.7	19.2	12.3	1.1	2.8	2.8	20.1	3.8	0.7	7.4	4.0	2.4	1.5	1.7	1.1	1.2	0.5	2.6	2.7	1.2	1.8	2.6	13.6	1.0	14.7	0.7	10.8	7.8
4	2.3	0.0	8.7	5.6	5.7	2.8	40.1	2.9	5.7	18.9	10.7	34.4	198.9	4.7	24.7	17.5	4.5	5.3	0.2	30.5	0.8	3.2	11.0	1.5	3.9	0.3	3.0	3.5	3.9	1.4	2.9	8.3	1.0	3.8	0.3	18.7	2.2	24.0	3.7	15.6	11.9
9	3.6	8.7	0.0	1.5	4.3	7.5	14.6	1.9	0.9	6.6	16.3	23.7	133.9	1.7	10.7	7.3	1.6	2.9	10.4	8.8	8.4	1.5	7.1	9.2	3.6	7.6	3.4	1.6	2.6	4.7	3.3	1.7	5.2	2.5	8.4	8.9	3.7	5.4	3.1	5.5	6.0
10	2.5	5.6	1.5	0.0	3.1	4.8	19.5	1.0	1.6	7.5	9.8	22.0	145.4	2.0	8.3	4.6	2.0	2.1	6.6	11.4	6.3	1.2	5.3	5.8	1.5	4.5	1.2	0.5	1.2	2.7	1.5	2.0	2.3	1.7	6.1	6.6	1.6	7.0	2.4	3.6	3.4
13	2.3	5.7	4.3	3.1	0.0	6.2	21.1	1.8	2.1	12.2	15.7	21.4	148.7	3.7	14.5	11.0	2.2	1.6	5.8	14.4	6.7	1.9	3.0	4.6	5.1	3.7	4.2	2.9	1.8	1.9	4.6	3.2	3.0	1.9	5.8	16.6	2.6	13.1	3.4	9.6	11.0
15	3.4	2.8	7.5	4.8	6.2	0.0	35.2	3.2	5.8	18.7	12.7	36.5	178.9	5.0	21.1	16.3	4.0	7.1	4.0	25.5	3.7	3.6	6.8	5.8	4.8	2.6	4.0	3.4	3.2	2.4	4.2	5.7	1.8	3.4	3.6	17.6	1.7	17.8	2.3	13.8	10.1
18	25.9	40.1	14.6	19.5	21.1	35.2	0.0	23.1	16.2	17.8	52.0	21.7	65.8	19.3	16.0	20.3	19.7	20.4	42.9	4.2	41.7	21.9	22.4	38.2	29.2	35.9	28.7	22.5	20.0	29.0	29.4	13.3	30.6	20.4	40.6	24.6	25.2	8.0	23.2	20.8	24.0
19	0.6	2.9	1.9	1.0	1.8	3.2	23.1	0.0	0.8	10.4	11.4	25.4	158.4	1.3	14.2	9.1	0.7	1.4	3.7	15.5	3.3	0.1	5.2	3.6	1.7	2.1	1.1	0.3	0.8	0.7	1.2	2.1	1.1	0.9	2.9	11.3	0.7	11.2	1.1	7.3	6.5
21	1.6	5.7	0.9	1.6	2.1	5.8	16.2	0.8	0.0	8.9	17.2	21.6	141.1	0.9	13.0	9.8	0.7	1.3	6.9	11.4	6.3	0.5	6.2	5.9	3.8	4.5	3.2	1.2	1.0	2.5	3.2	1.1	3.1	0.9	5.7	12.2	1.9	8.9	1.7	8.3	7.9
24	15.5	18.9	6.6	7.5	12.2	18.7	17.8	10.4	8.9	0.0	19.9	13.9	120.1	9.9	5.2	8.0	11.3	7.6	20.8	7.2	16.1	10.0	12.4	14.7	11.7	17.9	11.7	9.6	10.9	15.1	9.0	11.5	13.8	9.1	18.0	13.1	12.5	8.6	15.6	6.6	13.3
26	13.3	10.7	16.3	9.8	15.7	12.7	52.0	11.4	17.2	19.9	0.0	42.5	209.1	15.8	19.8	9.5	15.3	14.7	10.5	34.2	10.5	12.7	16.4	11.4	5.6	10.9	6.2	9.9	13.8	11.1	6.5	19.1	9.7	15.1	11.1	10.5	11.9	24.1	14.9	8.7	8.4
28	30	34	24	22	21	37	22	25	22	14	43	0	106	27	12	23	28	16	35	14	34	25	23	25	32	32	30	26	23	29	28	24	28	21	35	32	26	25	32	23	33
30	168	199	134	145	149	179	66	158	141	120	209	106	0	150	105	134	151	148	205	78	200	156	137	190	172	189	172	157	149	173	171	131	175	148	200	148	161	98	159	135	153
31	1.7	4.7	1.7	2.0	3.7	5.0	19.3	1.3	0.9	9.9	15.8	26.8	150.3	0.0	15.3	10.6	0.5	3.2	6.2	14.8	5.4	0.9	8.1	6.3	3.1	3.9	2.8	1.3	1.1	2.3	2.6	1.8	2.6	1.1	4.8	11.8	1.5	10.2	1.4	9.5	6.9
32	19.2	24.7	10.7	8.3	14.5	21.1	16.0	14.2	13.0	5.2	19.8	12.4	105.1	15.3	0.0	4.3	15.9	11.3	26.1	5.1	24.5	14.4	11.5	20.5	14.5	22.3	14.2	12.4	12.8	18.7	13.6	12.4	16.8	12.8	25.6	9.7	15.0	5.9	18.2	4.4	10.7
33	12.3	17.5	7.3	4.6	11.0	16.3	20.3	9.1	9.8	8.0	9.5	22.9	133.5	10.6	4.3	0.0	10.7	9.4	18.3	10.1	18.0	9.5	10.9	16.3	6.3	15.5	6.8	7.0	9.3	12.2	7.6	9.3	11.7	10.8	18.2	2.3	10.7	5.5	12.1	0.6	3.0
34	1.1	4.5	1.6	2.0	2.2	4.0	19.7	0.7	0.7	11.3	15.3	27.7	150.7	0.5	15.9	10.7	0.0	2.8	5.8	14.7	5.2	0.4	5.6	6.1	3.0	3.4	2.5	1.0	0.8	1.4	2.8	1.2	2.3	1.0	4.6	12.7	1.2	10.1	0.8	9.2	7.3
35	2.8	5.3	2.9	2.1	1.6	7.1	20.4	1.4	1.3	7.6	14.7	16.0	147.6	3.2	11.3	9.4	2.8	0.0	5.8	12.5	5.3	1.5	5.6	3.2	4.5	4.3	3.5	2.1	2.2	2.8	3.1	3.7	3.0	1.6	5.1	13.7	2.8	12.1	4.3	7.7	9.9
50	2.8	0.2	10.4	6.6	5.8	4.0	42.9	3.7	6.9	20.8	10.5	35.0	204.8	6.2	26.1	18.3	5.8	5.8	0.0	32.7	1.4	4.2	11.7	1.3	4.5	0.4	3.6	4.6	4.9	1.8	3.6	9.8	1.5	4.9	0.5	20.2	3.1	26.6	4.9	16.6	13.3
51	20.1	30.5	8.8	11.4	14.4	25.5	4.2	15.5	11.4	7.2	34.2	13.9	78.1	14.8	5.1	10.1	14.7	12.5	32.7	0.0	30.0	15.0	12.6	26.9	19.5	27.2	19.1	14.7	14.1	21.3	18.8	10.0	21.7	13.8	30.6	15.8	17.9	3.2	18.2	9.4	16.1
52	3.8	0.8	8.4	6.3	6.7	3.7	41.7	3.3	6.3	16.1	10.5	34.2	199.6	5.4	24.5	18.0	5.2	5.3	1.4	30.0	0.0	3.6	11.1	1.7	4.4	1.6	3.6	4.1	5.3	2.6	2.5	9.9	2.1	4.4	0.3	19.8	3.5	24.2	5.3	15.2	13.6
54	0.7	3.2	1.5	1.2	1.9	3.6	21.9	0.1	0.5	10.0	12.7	25.2	155.9	0.9	14.4	9.5	0.4	1.5	4.2	15.0	3.6	0.0	5.6	4.0	2.0	2.4	1.4	0.4	0.8	1.0	1.5	1.9	1.4	0.8	3.2	11.6	0.9	10.9	1.1	7.8	6.8
55	7.4	11.0	7.1	5.3	3.0	6.8	22.4	5.2	6.2	12.4	16.4	22.7	136.5	8.1	11.5	10.9	5.6	5.6	11.7	12.6	11.1	5.6	0.0	9.9	8.6	8.5	7.7	6.0	4.6	5.7	7.8	5.5	6.4	4.6	11.4	18.1	5.4	11.0	6.6	8.8	12.4
74	4.0	1.5	9.2	5.8	4.6	5.8	38.2	3.6	5.9	14.7	11.4	24.6	189.5	6.3	20.5	16.3	6.1	3.2	1.3	26.9	1.7	4.0	9.9	0.0	5.5	1.6	4.3	4.6	4.7	2.7	3.5	9.7	2.0	3.9	1.5	20.1	3.6	24.4	6.6	14.4	14.5
75	2.4	3.9	3.6	1.5	5.1	4.8	29.2	1.7	3.8	11.7	5.6	32.1	172.3	3.1	14.5	6.3	3.0	4.5	4.5	19.5	4.4	2.0	8.6	5.5	0.0	3.4	0.1	1.0	3.1	2.4	0.6	5.1	2.3	3.9	4.0	6.9	2.5	12.0	3.0	5.2	3.4
76	1.5	0.3	7.6	4.5	3.7	2.6	35.9	2.1	4.5	17.9	10.9	31.9	188.9	3.9	22.3	15.5	3.4	4.3	0.4	27.2	1.6	2.4	8.5	1.6	3.4	0.0	2.6	2.8	2.6	0.6	2.7	6.5	0.5	2.8	0.8	17.7	1.4	21.5	2.8	14.0	10.8
77	1.7	3.0	3.4	1.2	4.2	4.0	28.7	1.1	3.2	11.7	6.2	30.0	171.6	2.8	14.2	6.8	2.5	3.5	3.6	19.1	3.6	1.4	7.7	4.3	0.1	2.6	0.0	0.6	2.3	1.7	0.5	4.5	1.5	3.1	3.2	7.7	1.8	12.3	2.4	5.6	3.8
78	1.1	3.5	1.6	0.5	2.9	3.4	22.5	0.3	1.2	9.6	9.9	25.7	156.7	1.3	12.4	7.0	1.0	2.1	4.6	14.7	4.1	0.4	6.0	4.6	1.0	2.8	0.6	0.0	0.9	1.4	0.9	2.0	1.4	1.3	3.8	8.2	0.9	9.4	1.2	5.6	4.2
80	1.2	3.9	2.6	1.2	1.8	3.2	20.0	0.8	1.0	10.9	13.8	23.0	149.1	1.1	12.8	9.3	0.8	2.2	4.9	14.1	5.3	0.8	4.6	4.7	3.1	2.6	2.3	0.9	0.0	1.2	2.7	1.2	1.2	0.4	4.6	11.7	0.4	10.2	1.0	8.3	6.4
81	0.5	1.4	4.7	2.7	1.9	2.4	29.0	0.7	2.5	15.1	11.1	29.4	173.1	2.3	18.7	12.2	1.4	2.8	1.8	21.3	2.6	1.0	5.7	2.7	2.4	0.6	1.7	1.4	1.2	0.0	2.1	3.7	0.5	1.6	1.8	14.7	0.7	16.0	1.3	10.7	8.4
82	2.6	2.9	3.3	1.5	4.6	4.2	29.4	1.2	3.2	9.0	6.5	28.2	171.2	2.6	13.6	7.6	2.8	3.1	3.6	18.8	2.5	1.5	7.8	3.5	0.6	2.7	0.5	0.9	2.7	2.1	0.0	5.4	1.6	2.6	2.7	9.1	2.0	12.9	3.4	6.0	5.4
84	2.7	8.3	1.7	2.0	3.2	5.7	13.3	2.1	1.1	11.5	19.1	23.9	131.2	1.8	12.4	9.3	1.2	3.7	9.8	10.0	9.9	1.9	5.5	9.7	5.1	6.5	4.5	2.0	1.2	3.7	5.4	0.0	4.4	1.9	9.0	11.1	2.3	6.3	1.4	8.3	6.4
85	1.2	1.0	5.2	2.3	3.0	1.8	30.6	1.1	3.1	13.8	9.7	27.8	174.7	2.6	16.8	11.7	2.3	3.0	1.5	21.7	2.1	1.4	6.4	2.0	2.3	0.5	1.5	1.4	1.2	0.5	1.6	4.4	0.0	1.4	1.6	13.8	0.4	16.3	1.8	10.2	7.8
86	1.8	3.8	2.5	1.7	1.9	3.4	20.4	0.9	0.9	9.1	15.1	21.2	148.1	1.1	12.8	10.8	1.0	1.6	4.9	13.8	4.4	0.8	4.6	3.9	3.9	2.8	3.1	1.3	0.4	1.6	2.6	1.9	1.4	0.0	4.1	14.1	0.7	11.1	1.7	9.3	8.6
87	2.6	0.3	8.4	6.1	5																																				

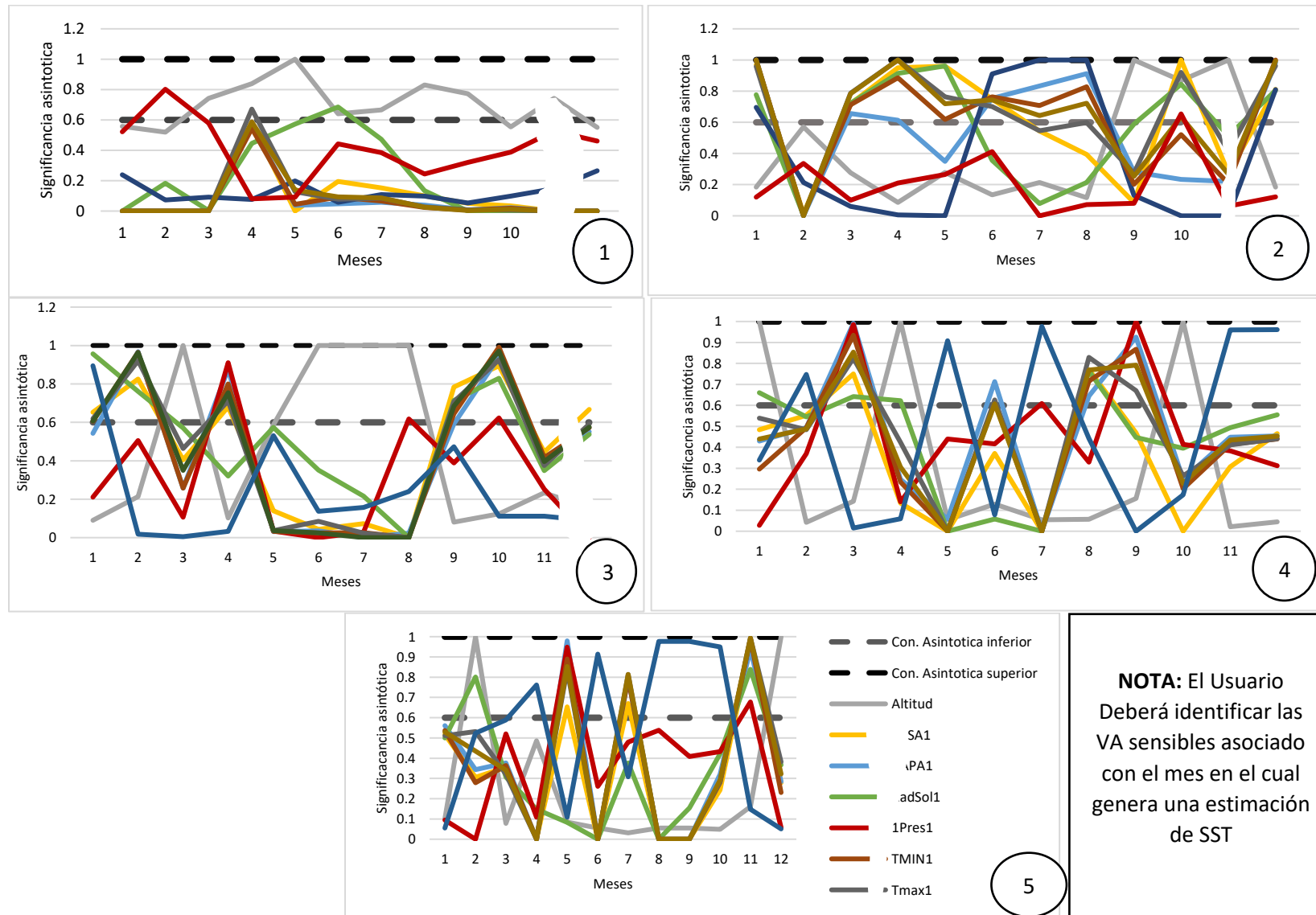
A.XI.1 Medida de aglomeración

Agglomeration Schedule						
Stage	Cluster Combined		Coefficients	Stage Cluster First Appears		Next Stage
	Cluster 1	Cluster 2		Cluster 1	Cluster 2	
1	8	22	0.065	0	0	5
2	25	27	0.130	0	0	11
3	2	19	0.240	0	0	7
4	21	35	0.322	0	0	16
5	8	28	0.325	1	0	15
6	29	37	0.349	0	0	10
7	2	26	0.379	3	0	16
8	1	30	0.485	0	0	14
9	14	17	0.500	0	0	13
10	29	34	0.527	6	0	15
11	25	31	0.535	2	0	20
12	16	40	0.560	0	0	28
13	9	14	0.778	0	9	17
14	1	33	0.871	8	0	21
15	8	29	0.888	5	10	17
16	2	21	0.901	7	4	22
17	8	9	1.027	15	13	18
18	8	39	1.197	17	0	21
19	36	41	1.351	0	0	28
20	4	25	1.370	0	11	25
21	1	8	1.409	14	18	25
22	2	24	1.519	16	0	30
23	5	18	1.587	0	0	27
24	3	32	1.692	0	0	26
25	1	4	2.144	21	20	26
26	1	3	2.672	25	24	27
27	1	5	2.816	26	23	31
28	16	36	2.926	12	19	35
29	20	38	3.244	0	0	33
30	2	6	3.748	22	0	31
31	1	2	4.365	27	30	34
32	10	15	5.162	0	0	35
33	7	20	6.104	0	29	38
34	1	23	7.081	31	0	36
35	10	16	8.751	32	28	36
36	1	10	11.999	34	35	37
37	1	11	12.481	36	0	38
38	1	7	19.065	37	33	39
39	1	12	26.489	38	0	40
40	1	13	152.960	39	0	0

A.XI.2 Dendograma y número de clústers conformados



ANEXO XII. Significancia asintótica a nivel mensual de las variables ambientales por cada modelo regional



Nota: este análisis de sensibilidad asintótica únicamente se agregó como referencia y complementa la discusión en el estudio de los modelos regionales.

Anexo XIII. Validación de los supuestos de los modelos regionales

XIII.1 Análisis del reporte de regresión para el MR1

Segmento A

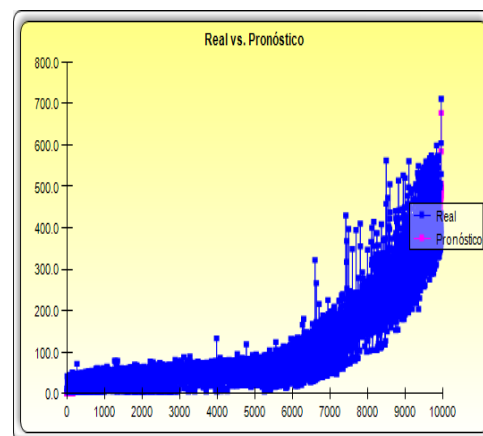
Estadísticas de Regresión					Informacion	
R-Cuadrado (Coeficiente de Determinación)	0.8700				Sum of Squared Errors (SSE)	#####
R-Cuadrado Ajustado	0.8700				Akaike Information Criterion (AIC)	10.3307
R-Múltiple (Coeficiente de Correlación Múltiple)	0.9328				Bayes and Schwarz Criterion (BSC)	10.3336
Error Estándar Estimado (EEy*)	42.3598				Log Likelihood	51422.1088
Observaciones n	9956				Hannan-Quinn Criterion (HQC)	10.3317

Resultados de la Regresión				
	Intercepto	B5	B3_2	B5_2
Coefficientes	-86.4426	2233.2119	14095.8974	11656.0544
Error Estándar	1.2174	23.2717	65.0196	106.3382
Estadístico t	-71.0057	95.9625	216.7946	-109.6130
P-Value	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Inferior al 5%	-88.8289	2187.5947	13968.4458	11864.4988
Superior al 95%	-84.0562	2278.8292	14223.3489	11447.6100

Grados de Libertad		Pruebas de Hipótesis	
Grados de Libertad para la Regresión	3	Estadístico t Crítico (99% de confianza con df de 9952)	2.5763
Grados de Libertad Residual	9952	Estadístico t Crítico (95% de confianza con df de 9952)	1.9602
Grados Totales de Libertad	9955	Estadístico t Crítico (90% de confianza con df de 9952)	1.6450

Análisis de Varianza					Pruebas de Hipótesis	
	Suma de Cuadrados	Suma del Promedio de Cuadrados	Estadístico F	P-Value	Estadístico F Crítico (99% de confianza con df de 3 y 9952)	
Regresión	#####	#####	22206.39	0.0000		3.7836
Residual	#####	1794.35			Estadístico F Crítico (95% de confianza con df de 3 y 9952)	2.6058
Total	#####				Estadístico F Crítico (90% de confianza con df de 3 y 9952)	2.0843

Estadísticas de orden 2	
Root Mean Squared Error (RMSE)	42.3513
Mean Squared Error (MSE)	1793.6288
Mean Absolute Deviation (MAD)	28.2617
Mean Absolute Percentage Error (MAPE)	44.9710%
Theil's (U)	0.6673
Symmetrical Mean Absolute Percentage Error (sMAPE)	36.9992%
Median Absolute Error (MdAE)	18.2302
Median Absolute Percentage Error (MdAPE)	26.3846%
Root Mean Square Log Error (RMSLE)	0.5489
Root Mean Square Percentage Error Loss (RMSPE)	0.8598
Root Median Square Percentage Error Loss (RMdSPE)	0.2638
Theil's U1 Accuracy (U1)	0.2603
Theil's U2 Quality (U2)	0.1324



Segmento B

Estadísticas de Regresión				
R-Cuadrado (Coeficiente de Determinación)	0.4116			
R-Cuadrado Ajustado	0.4111			
R-Múltiple (Coeficiente de Correlación Múltiple)	0.6416			
Error Estándar Estimado (EEy*)	4.2380			
Observaciones n	3391			

Resultados de la Regresión				
	Intercepto	B5	B3_2	B5_2
Coeficientes	185.6760	14241.2602	352529	-2601666
Error Estándar	5.2949	417.4225	10352.1201	78321.0273
Estadístico t	35.0667	-34.1171	34.0538	-33.2180
P-Value	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Inferior al 5%	175.2944	15059.6858	332232	-2755227
Superior al 95%	196.0576	13422.8347	372826	-2448104

Grados de Libertad	
Grados de Libertad para la Regresión	3
Grados de Libertad Residual	3387
Grados Totales de Libertad	3390

Pruebas de Hipótesis	
Estadístico t Crítico (99% de confianza con df de 3387)	2.5773
Estadístico t Crítico (95% de confianza con df de 3387)	1.9607
Estadístico t Crítico (90% de confianza con df de 3387)	1.6453

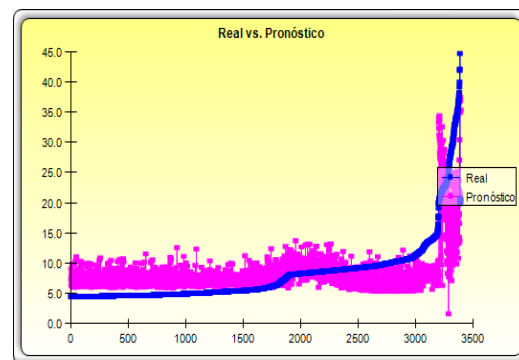
Análisis de Varianza				
	Suma de Cuadrados	Suma del Promedio de Cuadrados	Estadístico F	P-Value
Regresión	42556.03	14185.34	789.80	0.0000
Residual	60832.93	17.96		
Total	103388.95			

Estadísticas de segundo orden	
Root Mean Squared Error (RMSE)	4.2355
Mean Squared Error (MSE)	17.9395
Mean Absolute Deviation (MAD)	3.0235
Mean Absolute Percentage Error (MAPE)	38.5993%
Theil's (U)	45.3060
Symmetrical Mean Absolute Percentage Error (sMAPE)	35.6976%
Median Absolute Error (MdAE)	2.2892
Median Absolute Percentage Error (MdAPE)	38.1949%
Root Mean Square Log Error (RMSLE)	0.3639
Root Mean Square Percentage Error Loss (RMSPE)	0.4387
Root Median Square Percentage Error Loss (RMdSPE)	0.3819
Theil's U1 Accuracy (U1)	0.4292
Theil's U2 Quality (U2)	0.2255

Pruebas de Hipótesis	
Estadístico F Crítico (99% de confianza con df de 3 y 3387)	3.7874
Estadístico F Crítico (95% de confianza con df de 3 y 3387)	2.6075
Estadístico F Crítico (90% de confianza con df de 3 y 3387)	2.0854

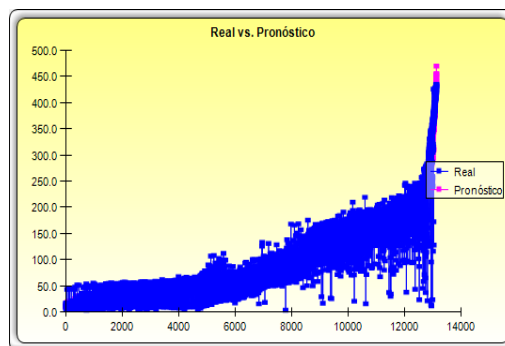
Real vs. Pronóstico

The plot displays 'Real' data as a blue line and 'Pronóstico' (forecast) as a light blue shaded area. The x-axis ranges from 0 to 3500, and the y-axis ranges from 0.0 to 45.0. Both the real data and the forecast show a significant upward trend starting around x=2000, reaching a peak of approximately 45 at x=3300. The forecast area closely follows the real data line throughout the range.



XIII.2 Análisis del reporte de regresión para el MR2

Estadísticas de Regresión					Información	
R-Cuadrado (Coeficiente de Determinación)	0.9				Sum of Squared Errors (SSE)	524338
R-Cuadrado Ajustado	0.9				Akaike Information Criterion (AIC)	0
R-Múltiple (Coeficiente de Correlación Múltiple)	1.0				Bayes and Schwarz Criterion (BSC)	9
Error Estándar Estimado (EEy*)	20.0				Log Likelihood	-57938
Observaciones n	#####				Hannan-Quinn Criterion (HQC)	9
Resultados de la Regresión						
	Intercepto	B3_2	B4_2	B5_2		
Coeficiente s	#####	-10049	10586	2164		
Error Estándar	0.3291	74.14	#####	#####		
Estadístico t	#####	-135.54	#####	#####		
P-Value	0.0000	0.0000	0.0000	0.000		
Inferior al 5%	#####	-10194	#####	2109.		
Superior al 95%	#####	#####	#####	2218.		
Grados de Libertad					Pruebas de Hipótesis	
Grados de Libertad para la Regresión					Estadístico t Crítico (99% de confianza con df de 13123)	2.5
Grados de Libertad Residual					Estadístico t Crítico (95% de confianza con df de 13123)	1.9
Grados Totales de Libertad					Estadístico t Crítico (90% de confianza con df de 13123)	1.6
						4
Análisis de Varianza						
	Suma de Cuadrados	Suma del Promedio de Cuadrados	Estadístico F	P-Value	Pruebas de Hipótesis	
Regresión	#####	#####	#####	0.000	Estadístico F Crítico (99% de confianza con df de 3 y 13123)	3.7
Residual	#####	399.56		0	Estadístico F Crítico (95% de confianza con df de 3 y 13123)	2.6
Total	#####				Estadístico F Crítico (90% de confianza con df de 3 y 13123)	2.0
						8
Estadísticas de segundo orden						
Root Mean Squared Error (RMSE)						
Mean Squared Error (MSE)						
Mean Absolute Deviation (MAD)						
Mean Absolute Percentage Error (MAPE)						
Theil's (U)						
Symmetrical Mean Absolute Percentage Error (sMAPE)						
Median Absolute Error (MdAE)						
Median Absolute Percentage Error (MdAPE)						
Root Mean Square Log Error (RMSLE)						
Root Mean Square Percentage Error Loss (RMSPE)						
Root Median Square Percentage Error Loss (RMdSPE)						
Theil's U1 Accuracy (U1)						
Theil's U2 Quality (U2)						



XIII.3 Análisis del reporte de regresión para el MR3

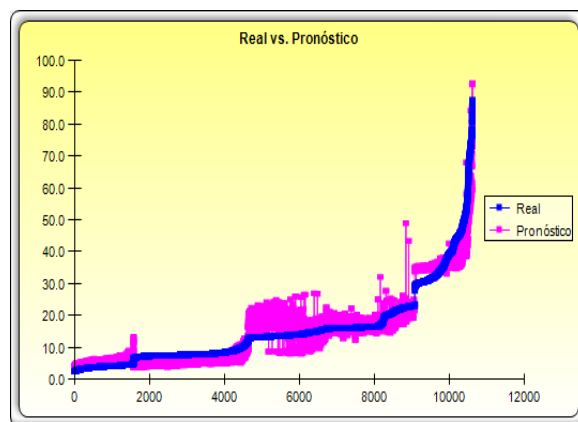
Estadísticas de Regresión		Información	
R-Cuadrado (Coeficiente de Determinación)	0.9063	Sum of Squared Errors (SSE)	145690
R-Cuadrado Ajustado	0.9062	Akaike Information Criterion (AIC)	5
R-Múltiple (Coeficiente de Correlación Múltiple)	0.9520	Bayes and Schwarz Criterion (BSC)	5
Error Estándar Estimado (EEy*)	3.7054	Log Likelihood	-28961
Observaciones n	10614	Hannan-Quinn Criterion (HQC)	5

Resultados de la Regresión			
	Intercepto	b1_2	b5_2
Coefficientes	3.0651	3431.0465	254.5626
Error Estándar	0.0549	11.1620	7.1868
Estadístico t	55.8551	307.3861	35.4209
P-Value	0.0000	0.0000	0.0000
Inferior al 5%	2.9576	3409.1668	240.4752
Superior al 95%	3.1727	3452.9261	268.6501

Grados de Libertad		Pruebas de Hipótesis	
Grados de Libertad para la Regresión	2	Estadístico t Crítico (99% de confianza con df de 10611)	2.5763
Grados de Libertad Residual	10611	Estadístico t Crítico (95% de confianza con df de 10611)	1.9602
Grados Totales de Libertad	10613	Estadístico t Crítico (90% de confianza con df de 10611)	1.6450

Análisis de Varianza					Pruebas de Hipótesis	
	Suma de Cuadrados	Suma del Promedio de Cuadrados	Estadístico F	P-Value		
Regresión	1408475.56	704237.78	51291.58	0.0000	Estadístico F Crítico (99% de confianza con df de 2 y 10611)	4.6072
Residual	145689.95	13.73			Estadístico F Crítico (95% de confianza con df de 2 y 10611)	2.9966
Total	1554165.51				Estadístico F Crítico (90% de confianza con df de 2 y 10611)	2.3031

Estadísticas de segundo orden	
Root Mean Squared Error (RMSE)	3.7049
Mean Squared Error (MSE)	13.7262
Mean Absolute Deviation (MAD)	2.8911
Mean Absolute Percentage Error (MAPE)	26.2315%
Theil's (U)	89.4107
Symmetrical Mean Absolute Percentage Error (sMAPE)	25.5038%
Median Absolute Error (MdAE)	2.4327
Median Absolute Percentage Error (MdAPE)	22.5020%
Root Mean Square Log Error (RMSLE)	0.2720
Root Mean Square Percentage Error Loss (RMSPE)	0.3237
Root Median Square Percentage Error Loss (RMdSPE)	0.2250
Theil's U1 Accuracy (U1)	0.1888
Theil's U2 Quality (U2)	0.0952



XIII.4 Análisis del reporte de regresión para el MR4

Estadísticas de Regresión	
R-Cuadrado (Coeficiente de Determinación)	0.8926
R-Cuadrado Ajustado	0.8925
R-Múltiple (Coeficiente de Correlación Múltiple)	0.9448
Error Estándar Estimado (EEy*)	58.5441
Observaciones n	10448

Información	
Sum of Squared Errors (SSE)	35795933
Akaike Information Criterion (AIC)	11
Bayes and Schwarz Criterion (BSC)	11
Log Likelihood	-57344
Hannan-Quinn Criterion (HQC)	11

Resultados de la Regresión				
	Intercepto	B4	B5_2	lnb1
Coefficientes	-1126.2	4414.6	16586.7	-369.5
Error Estándar	7.5592	31.0498	211.5477	2.0828
Estadístico t	-148.9893	142.1772	78.4065	-177.4259
P-Value	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Inferior al 5%	-1141	4354	16172	-374
Superior al 95%	-1111	4475	17001	-365

Grados de Libertad

Grados de Libertad para la Regresión	3
Grados de Libertad Residual	10444
Grados Totales de Libertad	10447

Pruebas de Hipótesis

Estadístico t Crítico (99% de confianza con df de 10444)	2.5763
Estadístico t Crítico (95% de confianza con df de 10444)	1.9602
Estadístico t Crítico (90% de confianza con df de 10444)	1.6450

Análisis de Varianza

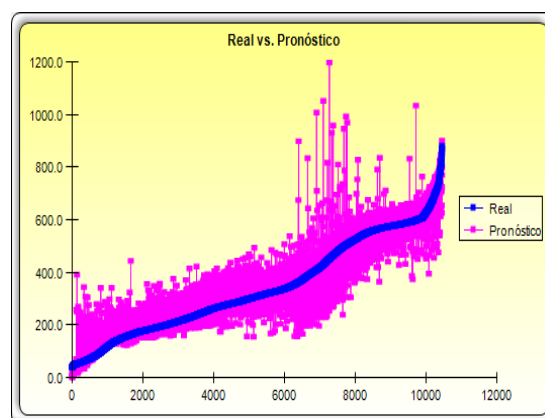
	Suma de Cuadrados	Suma del Promedio de Cuadrados	Estadístico F	P-Value	
Regresión	297363751	99121250	28920	0.0000	
Residual	35795933	3427			
Total	333159684				

Pruebas de Hipótesis

Estadístico F Crítico (99% de confianza con df de 3 y 10444)	3.7835
Estadístico F Crítico (95% de confianza con df de 3 y 10444)	2.6058
Estadístico F Crítico (90% de confianza con df de 3 y 10444)	2.0843

Estadísticas de orden 2

Root Mean Squared Error (RMSE)	58.5329
Mean Squared Error (MSE)	3426.1039
Mean Absolute Deviation (MAD)	41.6324
Mean Absolute Percentage Error (MAPE)	16.1643%
Theil's (U)	329.5030
Symmetrical Mean Absolute Percentage Error (sMAPE)	14.6572%
Median Absolute Error (MdAE)	31.3622
Median Absolute Percentage Error (MdAPE)	9.2186%
Root Mean Square Log Error (RMSLE)	0.2238
Root Mean Square Percentage Error Loss (RMSPE)	0.2941
Root Median Square Percentage Error Loss (RMdSPE)	0.0922
Theil's U1 Accuracy (U1)	0.1516
Theil's U2 Quality (U2)	0.0762



XIII.5 Análisis del reporte de regresión para el MR5

Estadísticas de Regresión		Criterio de Información	
R-Cuadrado (Coeficiente de Determinación)	0.8520	Sum of Squared Errors (SSE)	#####
R-Cuadrado Ajustado	0.8519	Akaike Information Criterion (AIC)	11.6047
R-Múltiple (Coeficiente de Correlación Múltiple)	0.9230	Bayes and Schwarz Criterion (BSC)	11.6059
Error Estándar Estimado (EEy*)	80.1027	Log Likelihood	#####
Observaciones n	25376	Hannan-Quinn Criterion (HQC)	11.6051

Resultados de la Regresión				
	Intercepto	B6	LNB3	B5*B2
Coefficientes	-894.6283	6436.2832	-341.7453	61644.1980
Error Estándar	4.8039	34.2209	1.6204	424.6911
Estadístico t	-186.2313	188.0802	-210.8964	145.1507
P-Value	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Inferior al 5%	-904.0441	6369.2082	-344.9214	60811.7791
Superior al 95%	-885.2125	6503.3582	-338.5691	62476.6169

Grados de Libertad

Grados de Libertad para la Regresión	3
Grados de Libertad Residual	25372
Grados Totales de Libertad	25375

Pruebas de Hipótesis

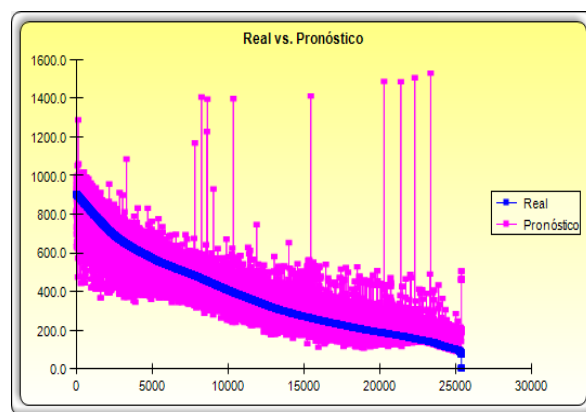
Estadístico t Crítico (99% de confianza con df de 25372)	2.5760
Estadístico t Crítico (95% de confianza con df de 25372)	1.9601
Estadístico t Crítico (90% de confianza con df de 25372)	1.6449

Análisis de Varianza

	Suma de Cuadrados	Suma del Promedio de Cuadrados	Estadístico F	P-Value	Pruebas de Hipótesis	
Regresión	#####	#####	48669.03	0.0000	Estadístico F Crítico (99% de confianza con df de 3 y 25372)	3.7824
Residual	#####	6416.45			Estadístico F Crítico (95% de confianza con df de 3 y 25372)	2.6053
Total	#####				Estadístico F Crítico (90% de confianza con df de 3 y 25372)	2.0840

Estadísticas de segundo orden

Root Mean Squared Error (RMSE)	80.0964
Mean Squared Error (MSE)	6415.4374
Mean Absolute Deviation (MAD)	56.3477
Mean Absolute Percentage Error (MAPE)	35.6973%
Theil's (U)	1204.7093
Symmetrical Mean Absolute Percentage Error (sMAPE)	16.7035%
Median Absolute Error (MdAE)	43.3962
Median Absolute Percentage Error (MdAPE)	11.4979%
Root Mean Square Log Error (RMSLE)	0.2510
Root Mean Square Percentage Error Loss (RMSPE)	14.8468
Root Median Square Percentage Error Loss (RMdSPE)	0.1150
Theil's U1 Accuracy (U1)	0.1858
Theil's U2 Quality (U2)	0.0937



XIII.6 Análisis del reporte de regresión para el MR6

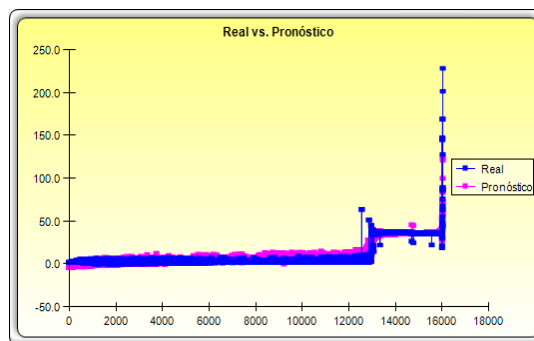
Estadísticas de Regresión				Información	
R-Cuadrado (Coeficiente de Determinación)	0.92			Sum of Squared Errors (SSE)	238596
R-Cuadrado Ajustado	0.92			Akaike Information Criterion (AIC)	5.54
R-Múltiple (Coeficiente de Correlación Múltiple)	0.96			Bayes and Schwarz Criterion (BSC)	5.54
Error Estándar Estimado (EEy*)	3.86			Log Likelihood	-44389
Observaciones n	16030			Hannan-Quinn Criterion (HQC)	5.539

Resultados de la Regresión			
	Intercept		
	0	B4	LNB2
Coefficientes	-88.71	225.8	-26.38
Error Estándar	0.2358	0.9	0.1
Estadístico t	-376.1	256.6	-430.8
P-Value	0.0000	0.0000	0.0000
Inferior al 5%	-89.17	224.1	-26.501
Superior al 95%	-88.24	227.5	#####

Grados de Libertad		Pruebas de Hipótesis	
Grados de Libertad para la Regresión	2	Estadístico t Crítico (99% de confianza con df de 16027)	2.58
Grados de Libertad Residual	16027	Estadístico t Crítico (95% de confianza con df de 16027)	1.96
Grados Totales de Libertad	16029	Estadístico t Crítico (90% de confianza con df de 16027)	1.64

Análisis de Varianza					Pruebas de Hipótesis	
	Suma de Cuadrados	Suma del Promedio de Cuadrados	Estadístico F	P-Value	Estadístico F Crítico (99% de confianza con df de 2 y 16027)	
Regresión	2764529	1382265	92850	0.0000	Estadístico F Crítico (95% de confianza con df de 2 y 16027)	4.61
Residual	238596	15			Estadístico F Crítico (90% de confianza con df de 2 y 16027)	3.00
Total	3003125					2.30

Estadísticas de segundo orden	
Root Mean Squared Error (RMSE)	3.86
Mean Squared Error (MSE)	14.88
Mean Absolute Deviation (MAD)	2.21
Mean Absolute Percentage Error (MAPE)	1.01
Theil's (U)	0.77
Symmetrical Mean Absolute Percentage Error (sMAPE)	0.65
Median Absolute Error (MdAE)	1.63
Median Absolute Percentage Error (MdAPE)	0.41
Root Mean Square Log Error (RMSLE)	0.71
Root Mean Square Percentage Error Loss (RMSPE)	4.72
Root Median Square Percentage Error Loss (RMdSPE)	0.41
Theil's U1 Accuracy (U1)	0.23
Theil's U2 Quality (U2)	0.12



XIII.7 Análisis del reporte de regresión para el MR7

Estadísticas de Regresión				Información	
R-Cuadrado (Coeficiente de Determinación)	0.90			Sum of Squared Errors (SSE)	193.96
R-Cuadrado Ajustado	0.90			Akaike Information Criterion (AIC)	-1.33
R-Múltiple (Coeficiente de Correlación Múltiple)	0.95			Bayes and Schwarz Criterion (BSC)	-1.33
Error Estándar Estimado (EEy*)	0.12			Log Likelihood	8313.8
Observaciones					1
n	12513			Hannan-Quinn Criterion (HQC)	-1.33

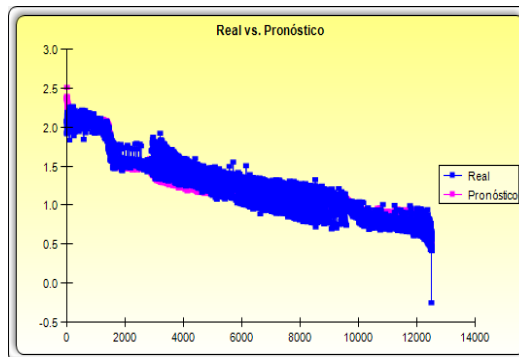
Resultados de la Regresión				
	Intercepto	B3	B4	B5
Coefficientes	1.26	-16.42	18.65	0.12
Error Estándar	0.01	0.10	0.06	0.05
Estadístico t	218.9	-159.6	333.9	2.61
				0.009
P-Value	0.0000	0.0000	0.0000	1
Inferior al 5%	1.25	-16.62	18.54	0.03
Superior al 95%	1.27	-16.22	18.76	0.21

Grados de Libertad		Pruebas de Hipótesis	
Grados de Libertad para la Regresión	3	Estadístico t Crítico (99% de confianza con df de 12509)	2.58
Grados de Libertad Residual	12509	Estadístico t Crítico (95% de confianza con df de 12509)	1.96
Grados Totales de Libertad	12512	Estadístico t Crítico (90% de confianza con df de 12509)	1.64

Análisis de Varianza				
	Suma de Cuadrados	Suma del Promedio de Cuadrados	Estadístico F	P-Value
Regresión	1792.63	597.54	#####	0.000
Residual	193.96	0.02		0
Total	1986.59			

Pruebas de Hipótesis	
Estadístico F Crítico (99% de confianza con df de 3 y 12509)	3.783
Estadístico F Crítico (95% de confianza con df de 3 y 12509)	2.605
Estadístico F Crítico (90% de confianza con df de 3 y 12509)	2.084

Estadísticas de segundo orden	
Root Mean Squared Error (RMSE)	0.12
Mean Squared Error (MSE)	0.02
Mean Absolute Deviation (MAD)	0.10
Mean Absolute Percentage Error (MAPE)	0.09
Theil's (U)	1.02
Symmetrical Mean Absolute Percentage Error (sMAPE)	0.09
Median Absolute Error (MdAE)	0.07
Median Absolute Percentage Error (MdAPE)	0.06
Root Mean Square Log Error (RMSLE)	0.06
Root Mean Square Percentage Error Loss (RMSPE)	0.12
Root Median Square Percentage Error Loss (RMdSPE)	0.06
Theil's U1 Accuracy (U1)	0.09
Theil's U2 Quality (U2)	0.05



XIII.7 Análisis del reporte de regresión para el MR8

Segmento a

Estadísticas de Regresión		Información	
R-Cuadrado (Coeficiente de Determinación)	0.95	Sum of Squared Errors (SSE)	818514
R-Cuadrado Ajustado	0.95	Akaike Information Criterion (AIC)	7.6
R-Múltiple (Coeficiente de Correlación Múltiple)	0.97	Bayes and Schwarz Criterion (BSC)	7.6
Error Estándar Estimado (EEy*)	10.86	Log Likelihood	-26413
Observaciones			
sn	6944.00	Hannan-Quinn Criterion (HQC)	7.6

Resultados de la Regresión				
	Intercepto	B3	B4_2	LNB3
Coefficientes	#####	-4047.9	9520	112.5
Error Estándar	5.3325	27.4	47.76	1.3
Estadístico t	96.4712	-147.8	199.3	85.5
P-Value	0.0000	0.0	0.0000	0
Inferior al 5%	#####	-4101.6	9426.53	109.9
Superior al 95%	#####	-3994.2	9613.77	115.0
				7

Grados de Libertad

Grados de Libertad para la Regresión	3
Grados de Libertad Residual	6940
Grados Totales de Libertad	6943

Pruebas de Hipótesis

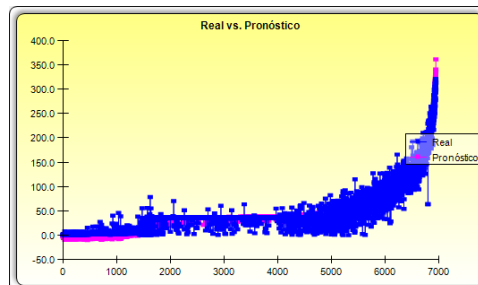
Estadístico t Crítico (99% de confianza con df de 6940)	2.58
Estadístico t Crítico (95% de confianza con df de 6940)	1.96
Estadístico t Crítico (90% de confianza con df de 6940)	1.65

Análisis de Varianza

	Suma de Cuadrados	Suma del Promedio de Cuadrados	Estadístico F	P-Value	Pruebas de Hipótesis	
Regresión	#####	4745877	40239	0.0000	Estadístico F Crítico (99% de confianza con df de 3 y 6940)	3.784
Residual	#####	117.94		0	Estadístico F Crítico (95% de confianza con df de 3 y 6940)	2.606
Total	#####				Estadístico F Crítico (90% de confianza con df de 3 y 6940)	2.084
						6

Estadísticas de segundo orden

Root Mean Squared Error (RMSE)	10.86
Mean Squared Error (MSE)	117.8
Mean Absolute Deviation (MAD)	7
Mean Absolute Percentage Error (MAPE)	6.93
Theil's (U)	0.98
Symmetrical Mean Absolute Percentage Error (sMAPE)	0.41
Median Absolute Error (MdAE)	0.50
Median Absolute Percentage Error (MdAPE)	3.65
Root Mean Square Log Error (RMSLE)	0.11
Root Mean Square Percentage Error Loss (RMSPE)	0.53
Root Median Square Percentage Error Loss (RMdSPE)	11.78
Theil's U1 Accuracy (U1)	0.11
Theil's U2 Quality (U2)	0.17
	0.08



Segmento b

Estadísticas de Regresión				Información	
R-Cuadrado (Coeficiente de Determinación)	0.71			Sum of Squared Errors (SSE)	12480
R-Cuadrado Ajustado	0.71			Akaike Information Criterion (AIC)	3.90
R-Múltiple (Coeficiente de Correlación Múltiple)	0.84			Bayes and Schwarz Criterion (BSC)	3.91
Error Estándar Estimado (EEy*)	1.70			Log Likelihood	-8410
Observaciones n	4313			Hannan-Quinn Criterion (HQC)	3.90

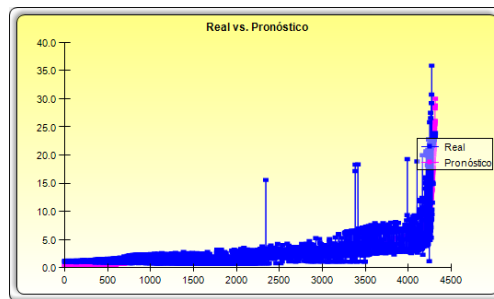
Resultados de la Regresión				
	Intercepto	B3	B3_2	LNB3
Coefficientes	-200.34	1448	-3365	-46.02
Error Estándar	2.09	14.65	38.42	0.48
Estadístico t	-95.93	98.82	-87.58	-95.75
P-Value	0.00	0.00	0.00	0.00
Inferior al 5%	-204	1419	-3440	-46.97
Superior al 95%	-196	1477	-3290	-45.08

Grados de Libertad		Pruebas de Hipótesis	
Grados de Libertad para la Regresión	3	Estadístico t Crítico (99% de confianza con df de 4309)	2.58
Grados de Libertad Residual	4309	Estadístico t Crítico (95% de confianza con df de 4309)	1.96
Grados Totales de Libertad	4312	Estadístico t Crítico (90% de confianza con df de 4309)	1.65

Análisis de Varianza				
	Suma de Cuadrados	Suma del Promedio de Cuadrados	Estadístico F	P-Value
Regresión	30880	10293	3554	0.0000
Residual	12480	3		
Total	43360			

Pruebas de Hipótesis	
Estadístico F Crítico (99% de confianza con df de 3 y 4309)	3.79
Estadístico F Crítico (95% de confianza con df de 3 y 4309)	2.61
Estadístico F Crítico (90% de confianza con df de 3 y 4309)	2.09

Estadísticas de segundo orden	
Root Mean Squared Error (RMSE)	1.70
Mean Squared Error (MSE)	2.89
Mean Absolute Deviation (MAD)	1.10
Mean Absolute Percentage Error (MAPE)	0.53
Theil's (U)	1.13
Symmetrical Mean Absolute Percentage Error (sMAPE)	0.49
Median Absolute Error (MdAE)	0.82
Median Absolute Percentage Error (MdAPE)	0.44
Root Mean Square Log Error (RMSLE)	0.34
Root Mean Square Percentage Error Loss (RMSPE)	0.68
Root Median Square Percentage Error Loss (RMdSPE)	0.44
Theil's U1 Accuracy (U1)	0.41
Theil's U2 Quality (U2)	0.21



Anexo XIV. Resultados de los i grupos de la validación cruzada (i -fold cross-validation)

XIV.1 Promedio de los coeficientes de la validación cruzada para el MR1

Validación cruzada SST MR1 segmento a

β_n	i=0	i=1	i=2	i=3	i=4	$\bar{\beta}$
Inter.	-61.38002902	-10.75809871	-54.87133536	-277.5468524	94.23931549	-62.0634
B5	1954.246172	991.6640149	1806.47967	3436.321642	1273.188501	1892.38
B3_2	10705.86035	3036.887433	9440.986307	22644.21412	21975.55179	13560.7
B5_2	-9161.692186	-4645.614823	-8850.972731	-19373.64264	93226.42238	10238.9
RMSE	15.87	22.14	30.2	21.6	26.2	23.2

Simbología: coeficientes de n iteración ($i=n$), promedio de los β_n a través de las iteraciones ($\bar{\beta}_n$), y raíz del error cuadrático medio (RMSE).

Validación cruzada SST MR1 segmento b

β_n	i=0	i=1	i=2	i=3	i=4	$\bar{\beta}$
β_0	22.18825162	173.4006558	-141.74014	55.09449658	819.426736	185.674
β_1	-1581.880484	-15357.37066	14959.49627	-5077.038102	-64148.70702	-14241.1
β_2	47289.89058	463577.1912	-487367.2311	158134.2436	1580995.906	352526
β_3	-470066.4313	-4630101.665	5182941.273	-1315908.539	-11775064.64	-2601640
RMSE	2.72	1.68	0.77	3.01	2.8	2.12

Simbología: coeficientes de n iteración ($i=n$), promedio de los β_n a través de las iteraciones ($\bar{\beta}_n$), y raíz del error cuadrático medio (RMSE).

XXI.2 Promedio de los coeficientes de la validación cruzada para el MR2

β_n	i=0	i=1	i=2	i=3	i=4	$\bar{\beta}$
Intercept	16.82754018	40.34089112	34.80614783	34.63244538	52.26797549	35.775
B3_2	-9226.721673	-9755.66945	-16301.72985	-8257.681807	-6703.19722	-10049
B4_2	10744.97587	10580.92198	14602.69542	10085.46518	6915.94155	10586
B5_2	7803.055584	2321.503831	2905.575681	1423.35298	-3632.738076	2164.15
RMSE	10.24	16.23	10.3	15.69	18.5	14.2

Simbología: coeficientes de n iteración ($i=n$), promedio de los β_n a través de las iteraciones ($\bar{\beta}_n$), y raíz del error cuadrático medio (RMSE).

XIV.3 Promedio de los coeficientes de la validación cruzada para el MR3

β_n	i=0	i=1	i=2	i=3	i=4	$\bar{\beta}$
Intercept	6.658587	7.079715	14.84419	0.698429	-13.955221	3.06514
b1_2	-1023.69	1052.204	-163.18	3812.674	13477.242	3431.05
b5_2	-947.162	423.9034	182.3011	372.7594	1241.0131	254.563
RMSE	15.03	8.9	15.98	15.8	22.9	15.7

Simbología: coeficientes de n iteración (i=n), promedio de los β_n a través de las iteraciones ($\bar{\beta}_n$), y raíz del error cuadrático medio (RMSE).

XIV.4 Promedio de los coeficientes de la validación cruzada para el MR4

Validación cruzada PT Exponencial

β_n	i=0	i=1	i=2	i=3	i=4	$\bar{\beta}$
Intercept	-492.601	-350.9900325	156.4157652	-532.517	-4411.557733	-1126.25
B4	1476.212	1668.582956	1506.276713	2077.262	15344.56633	4414.58
B5_2	10829.94	4765.287695	3865.766935	15402.38	48070.12537	16586.7
lnb1	-191.42	-164.3863038	-41.31287388	-269.049	-1181.556822	-369.545
RMSE	19.23	31.26	12.29	29.11	39.2	26.2

Simbología: coeficientes de n iteración (i=n), promedio de los β_n a través de las iteraciones ($\bar{\beta}_n$), y raíz del error cuadrático medio (RMSE).

XVI.5 Promedio de los coeficientes de la validación cruzada para el MR5

β_n	i=0	i=1	i=2	i=3	i=4	$\bar{\beta}$
Intercept	-436.992	-204.459	-79.2146	78.93844	-3831.41284	-894.628
B6	3433.19	2523.102	2946.296	2249.896	21028.916	6436.28
LNB3	-276.408	-167.94	-76.696	-6.37679	-1181.30421	-341.745
B5*B2	47409.32	32813.91	27159.29	9978.444	190860.036	61644.2
RMSE	62.3	50.9	63.7	84	60.2	64.2

Simbología: coeficientes de n iteración (i=n), promedio de los β_n a través de las iteraciones ($\bar{\beta}_n$), y raíz del error cuadrático medio (RMSE).

XIV.6 Promedio de los coeficientes de la validación cruzada para el MR6

β_n	i=0	i=1	i=2	i=3	i=4	$\bar{\beta}$
Intercept	-20.05213965	-23.17801733	-13.68139423	-115.560469	-271.0604798	-88.7065
B4	73.32915636	82.92208923	54.66981822	276.0195636	642.1543726	225.819

LNB2	-6.177680858	-7.009280915	-4.338967025	-32.29937757	-82.07719363	-26.3805
RMSE	15.63	28.23	26.8	19.19	18.3	21.63

Simbología: coeficientes de n iteración ($i=n$), promedio de los βn a través de las iteraciones ($\bar{\beta n}$), y raíz del error cuadrático medio (RMSE).

XIV.7 Promedio de los coeficientes de la validación cruzada para el MR7

β_n	i=0	i=1	i=2	i=3	i=4	$\bar{\beta}$
Intercept	1.451228	1.470497932	0.772272579	0.96569982	1.904251669	1.31279
B2	-2.8991	-3.091903363	-3.293079019	-3.215031203	-0.278486415	-2.55552
B3	-13.675	-17.94261269	-10.63195026	-16.16689498	-15.69354207	-14.822
B4	16.83335	22.47714831	25.49720261	28.30437858	2.4804205	19.1185
RMSE	0.25	1.27	0.5	0.95	1.9	0.97

Simbología: coeficientes de n iteración ($i=n$), promedio de los βn a través de las iteraciones ($\bar{\beta n}$), y raíz del error cuadrático medio (RMSE).

XIV.8 Promedio de los coeficientes de la validación cruzada para el MR8

Validación cruzada SST MR1 segmento a

β_n	i=0	i=1	i=2	i=3	i=4	$\bar{\beta}$
Intercept	265.9267	306.168	103.8660366	-273.982	2347.991263	549.994
B3	-1774.99	-2607.04	-954.8371137	-1318.91	-12580.47289	-3847.25
B3_2	3944.513	6334.659	2513.276891	6835.725	23612.62611	8648.16
LNB3	60.66875	62.57116	14.86514239	-89.7142	564.0841476	122.495
RMSE	15.25	13.27	16.5	24.63	21.2	18.2

Simbología: coeficientes de n iteración ($i=n$), promedio de los βn a través de las iteraciones ($\bar{\beta n}$), y raíz del error cuadrático medio (RMSE).

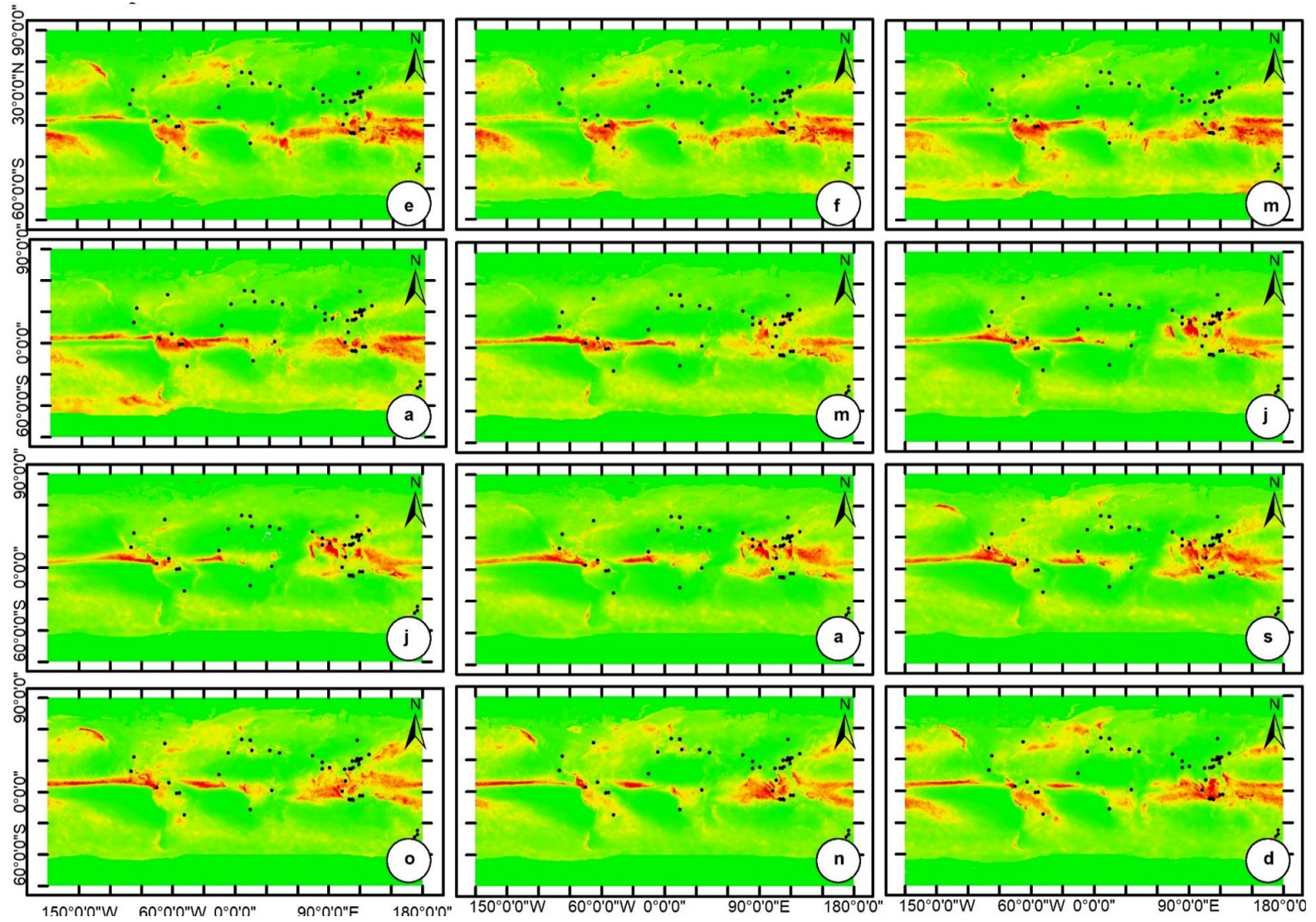
Validación cruzada SST MR1 segmento B

β_n	i=0	i=1	i=2	i=3	i=4	$\bar{\beta}$
Intercept	290.7354	-91.3055	-13.4464	-165.373	541.3695	112.396
B3	-3236.23	978.8942	65.5914	1132.918	-6776.6236	-1567.09
B3_2	22072.56	-5350.01	792.7696	-2550.69	11744.3204	5341.79
LNB3	60.71303	-19.2562	-3.37388	-39.5391	73.45415	14.3996
RMSE	14.523	4.96	19.36	16.36	3.18	11.7

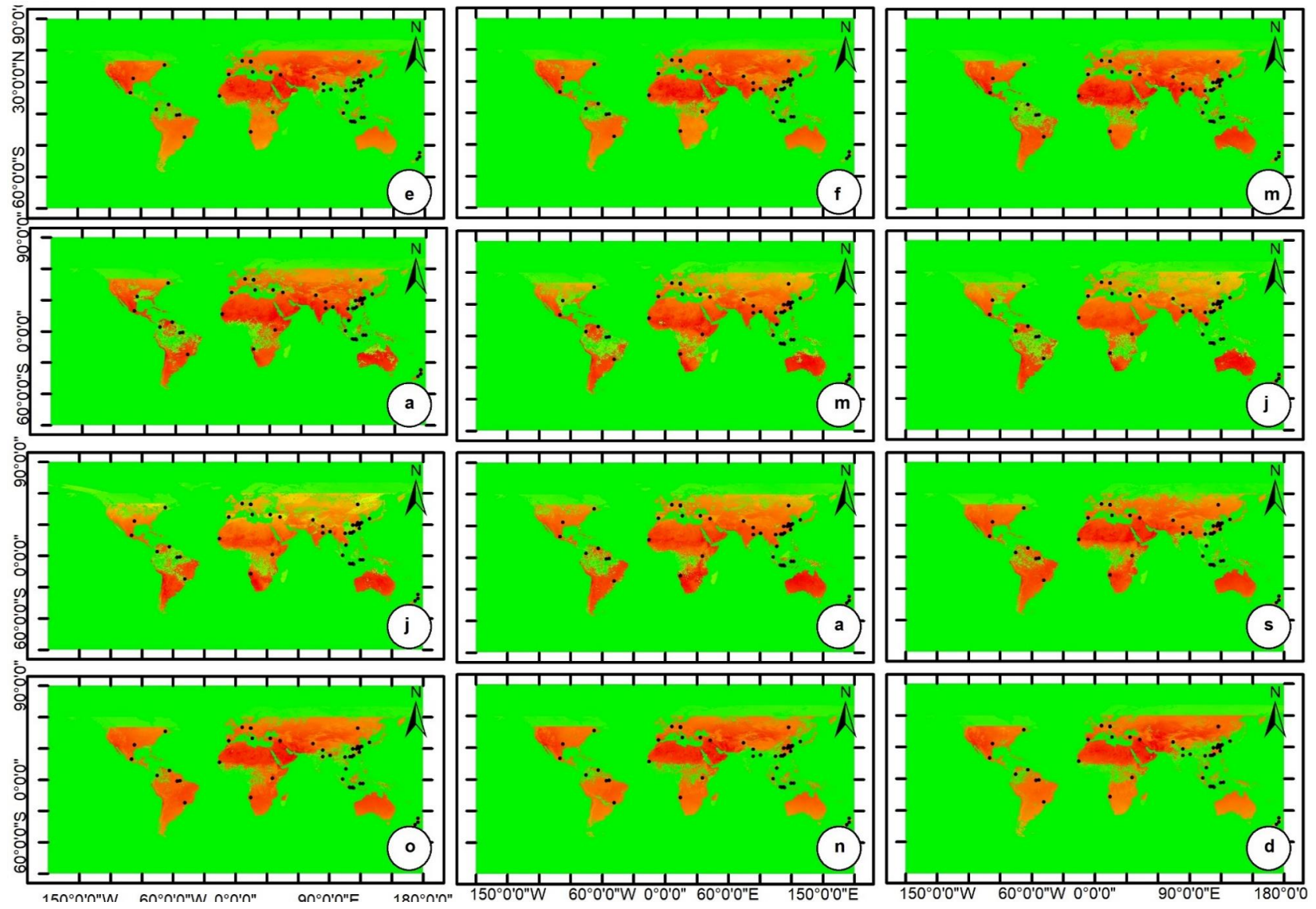
Simbología: coeficientes de n iteración ($i=n$), promedio de los βn a través de las iteraciones ($\bar{\beta n}$), y raíz del error cuadrático medio (RMSE).

ANEXO XV. DISTRIBUCIÓN ESPECIAL DE LAS VA A NIVEL MENSUAL

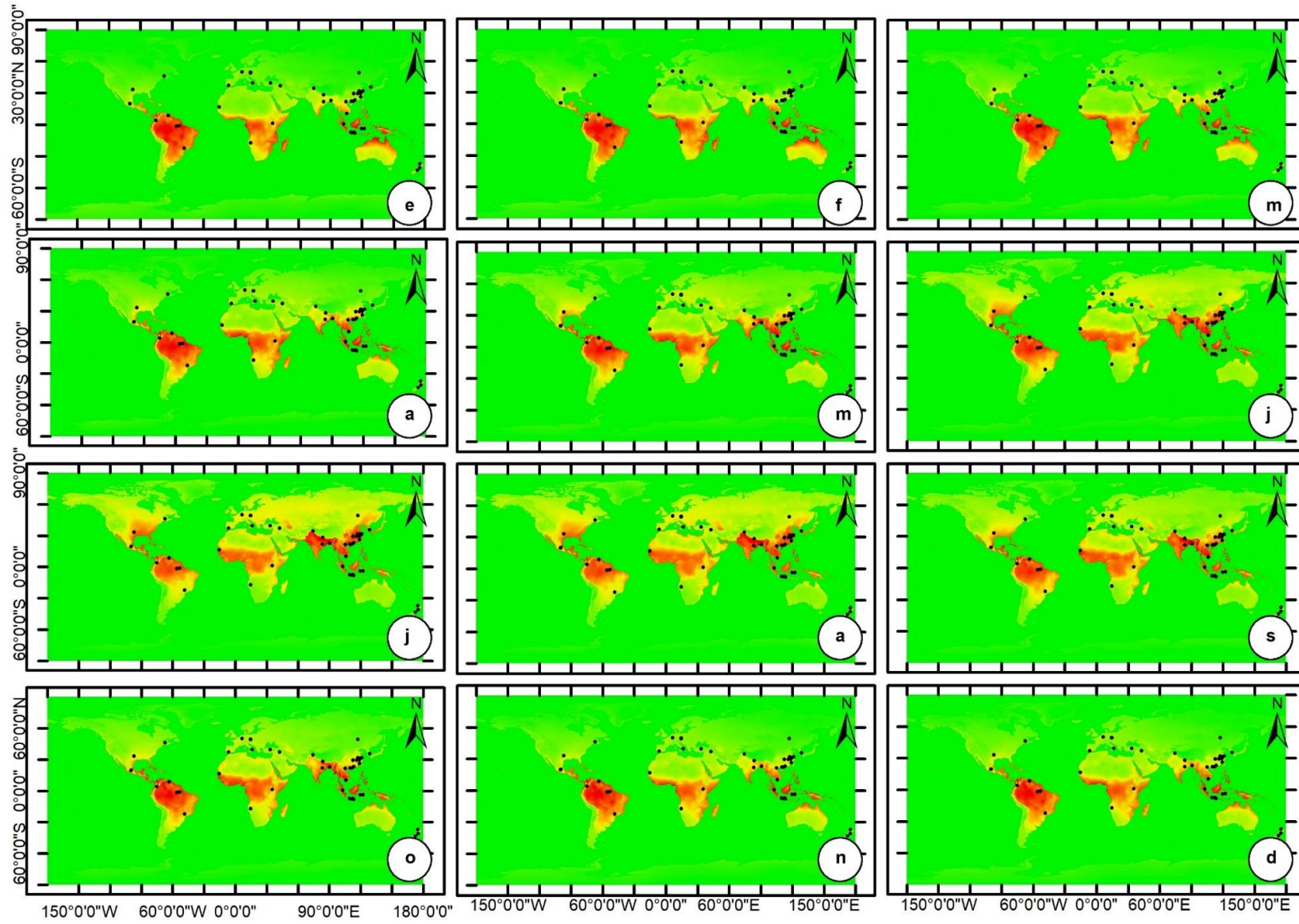
XV.1 Precipitación.



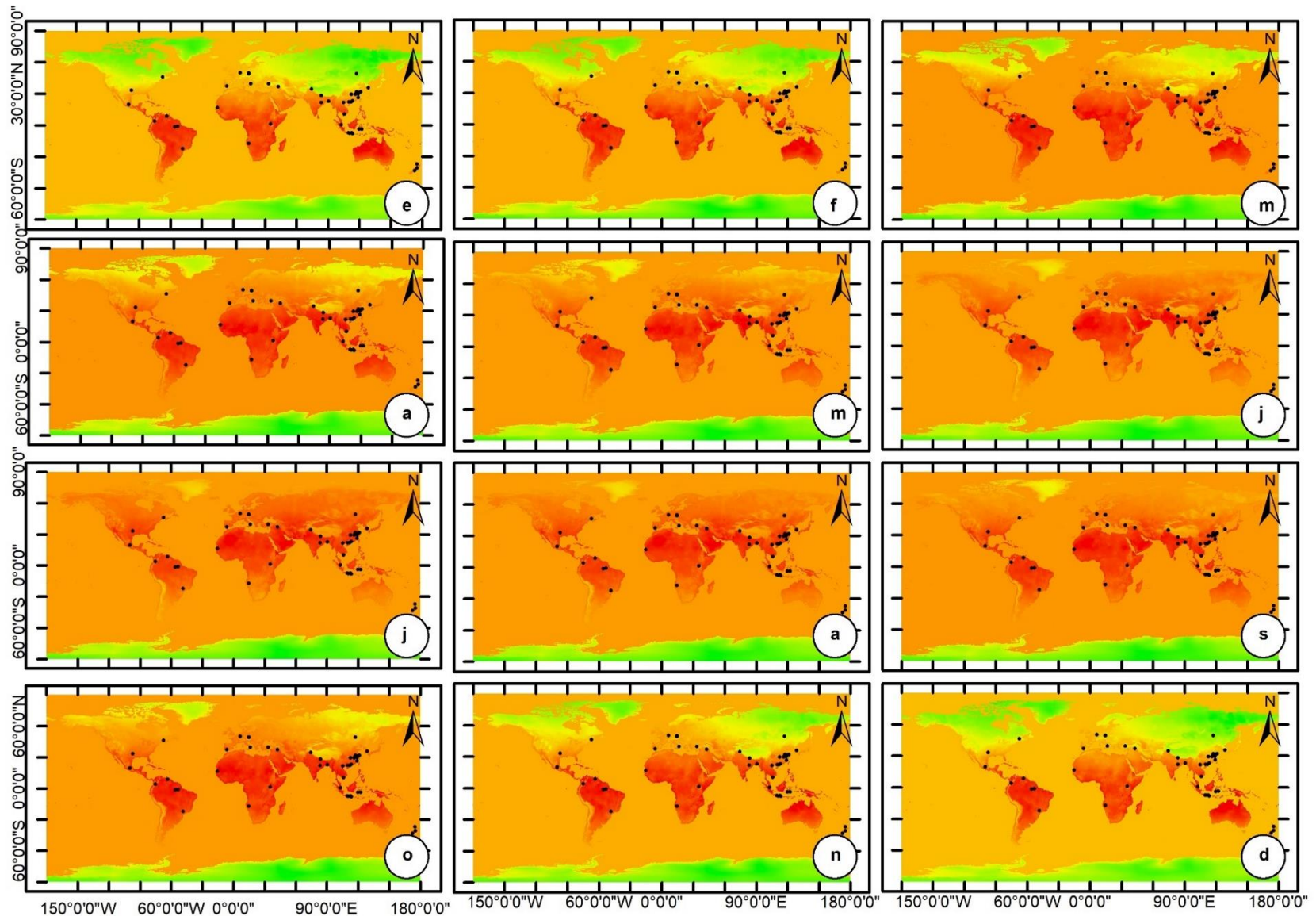
XV.2 TASA



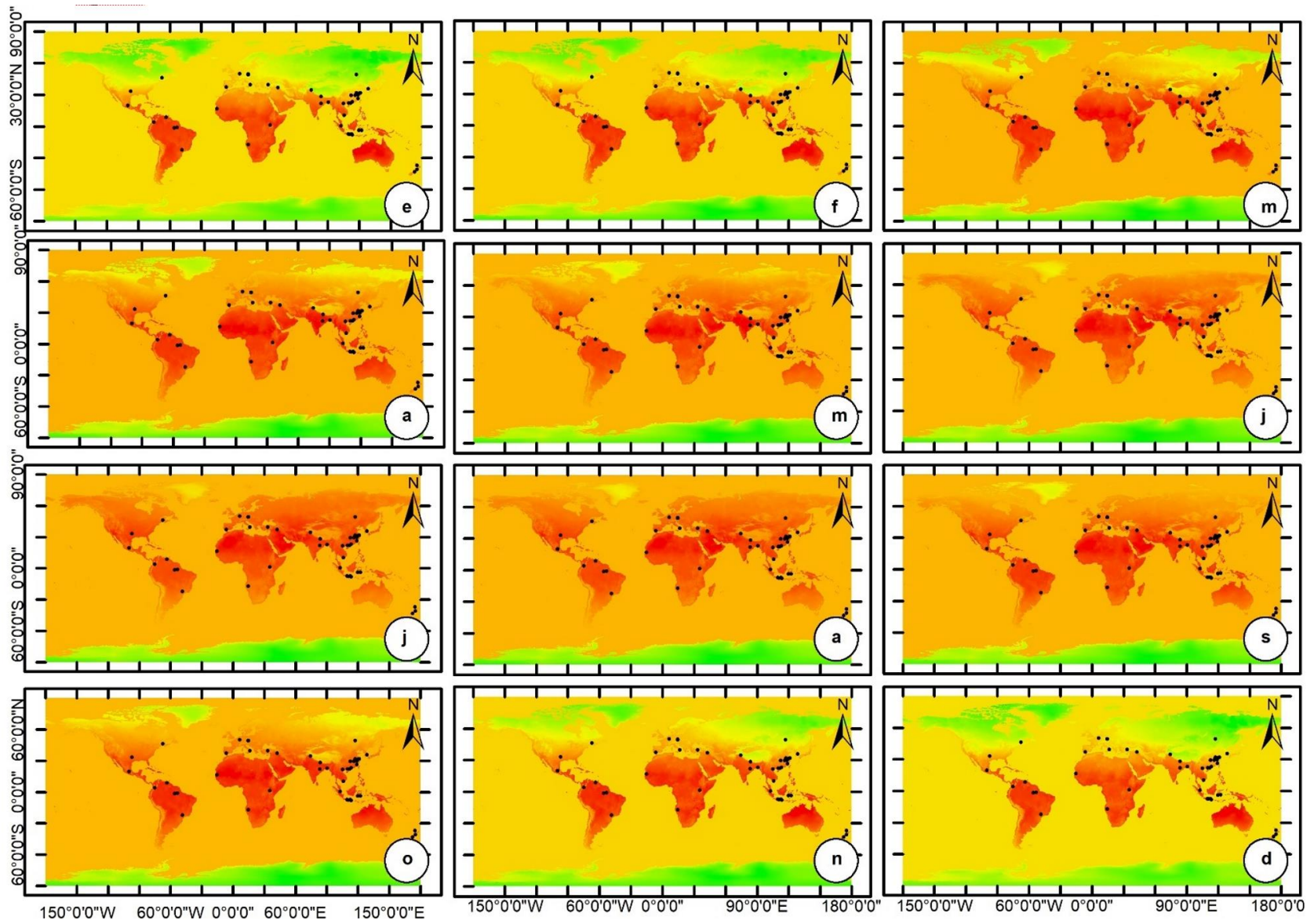
XV.3 VAPA



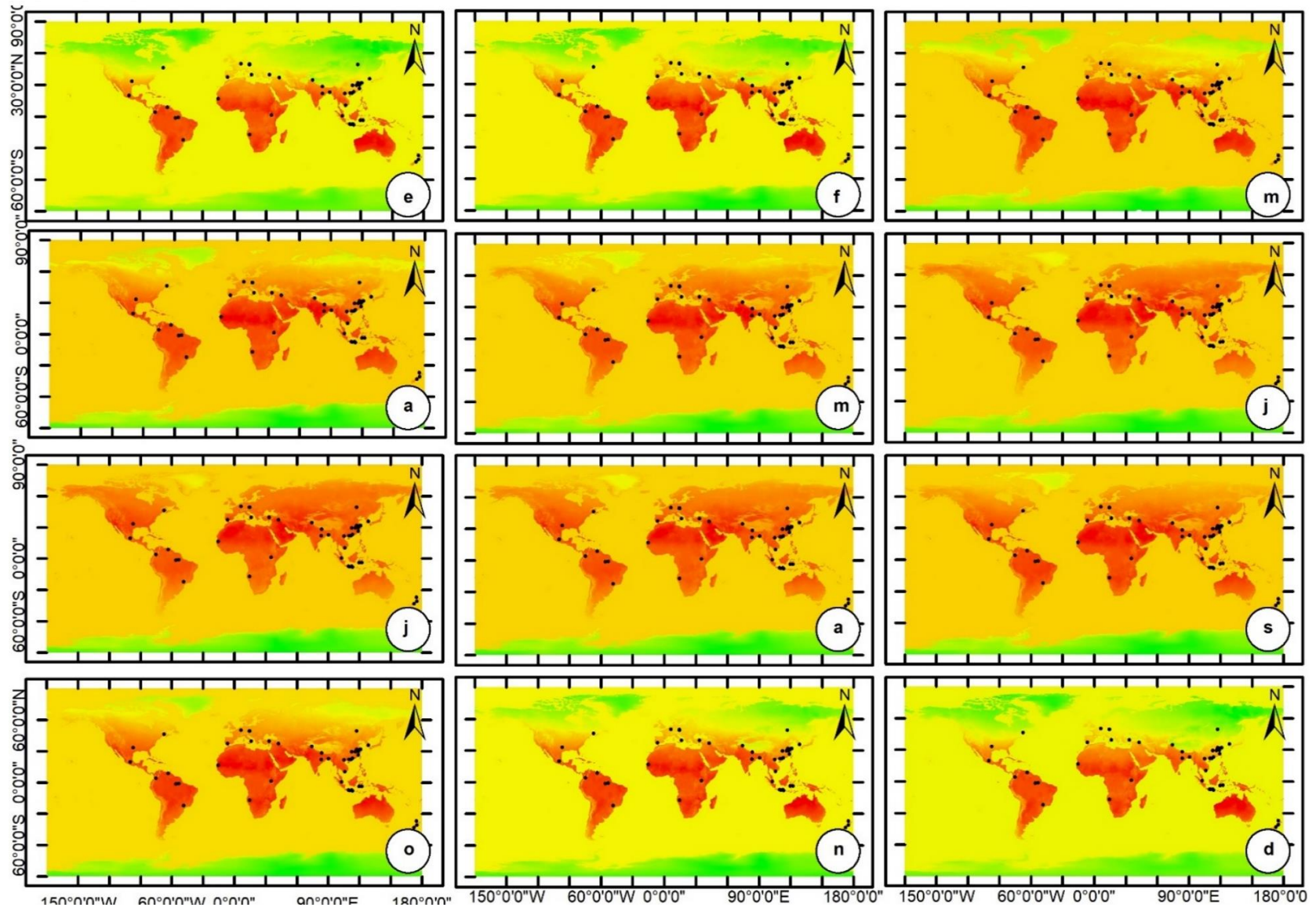
XV.4 Tmín



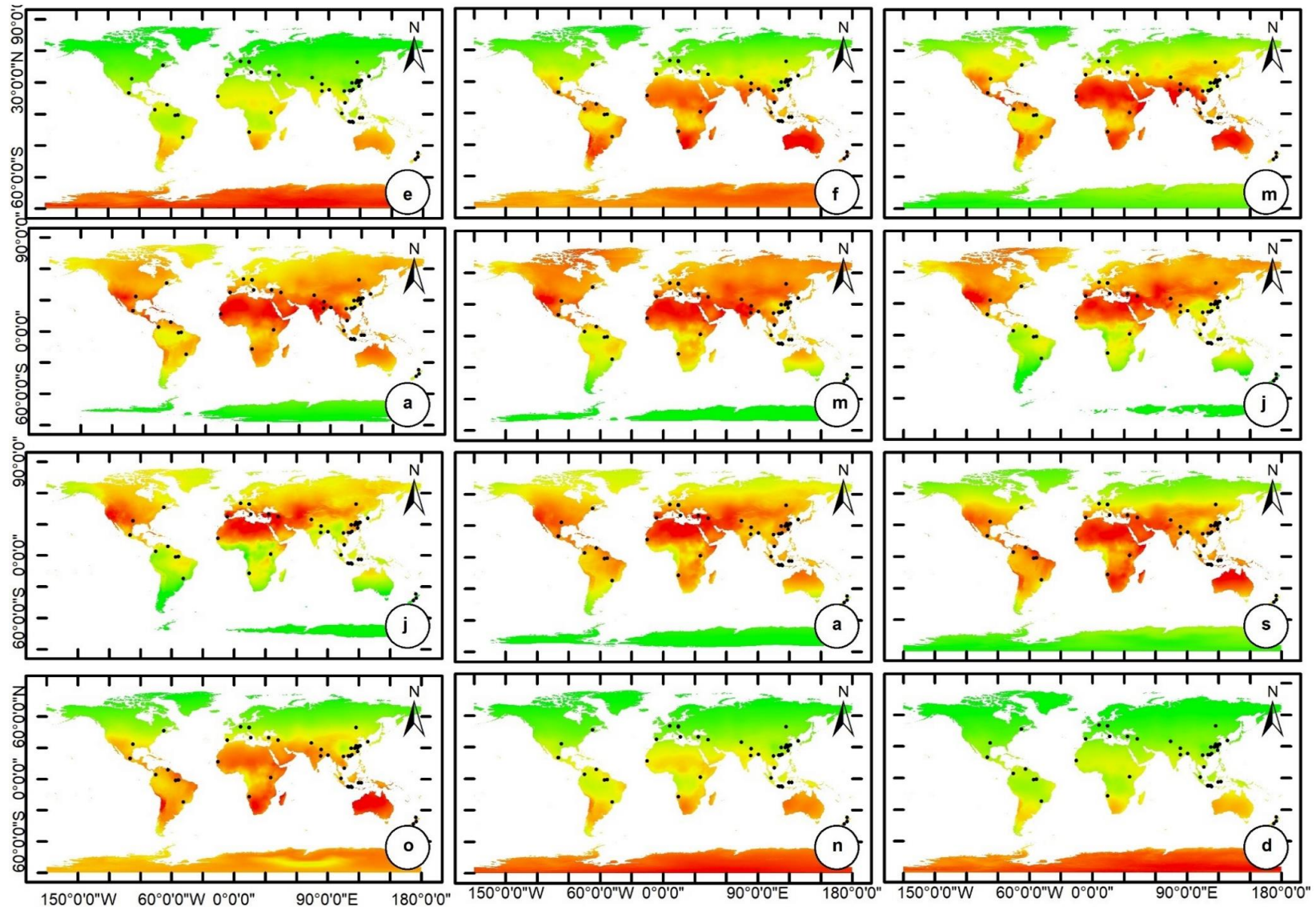
XV.5 Tprom



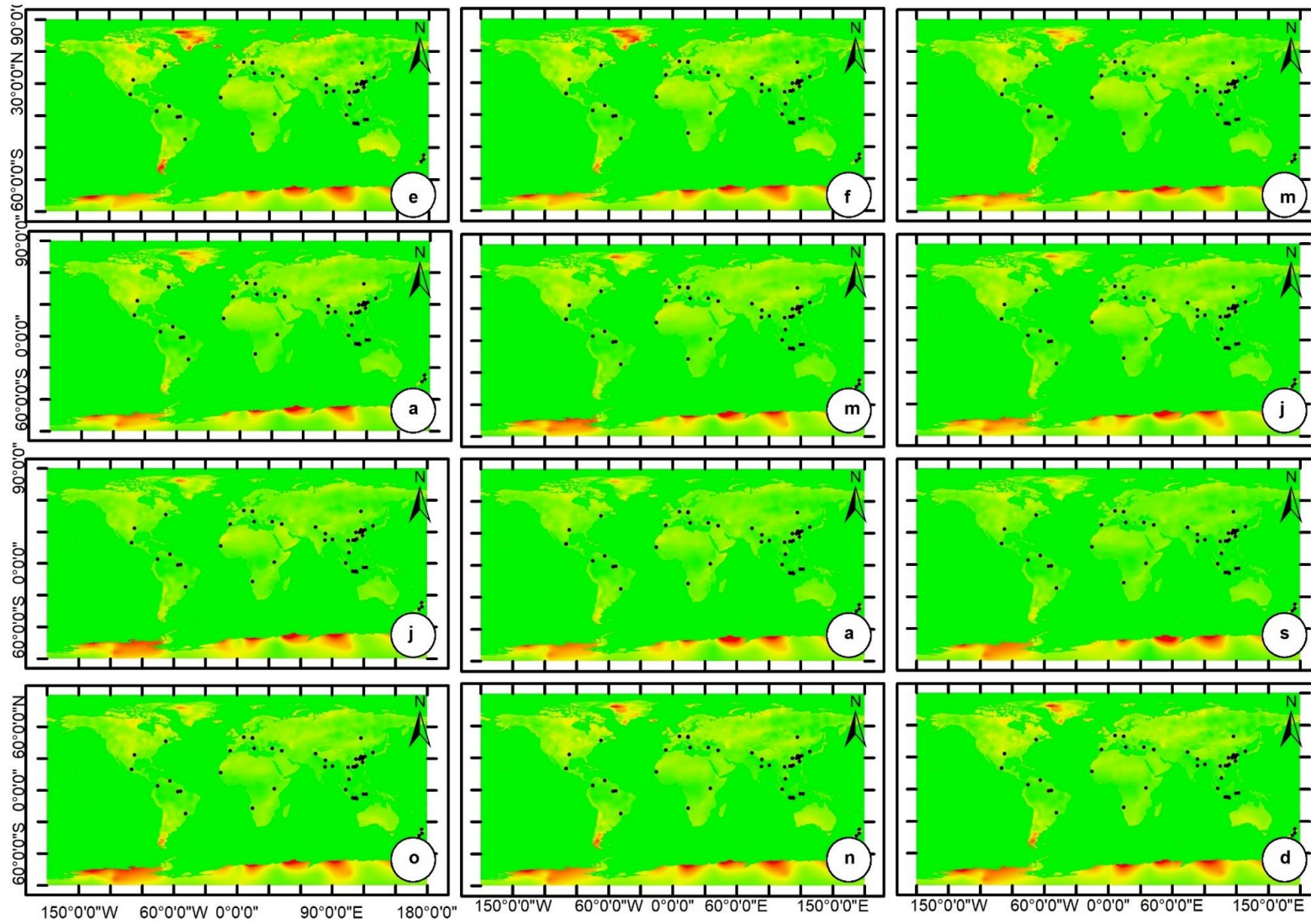
XV.6 TMáx



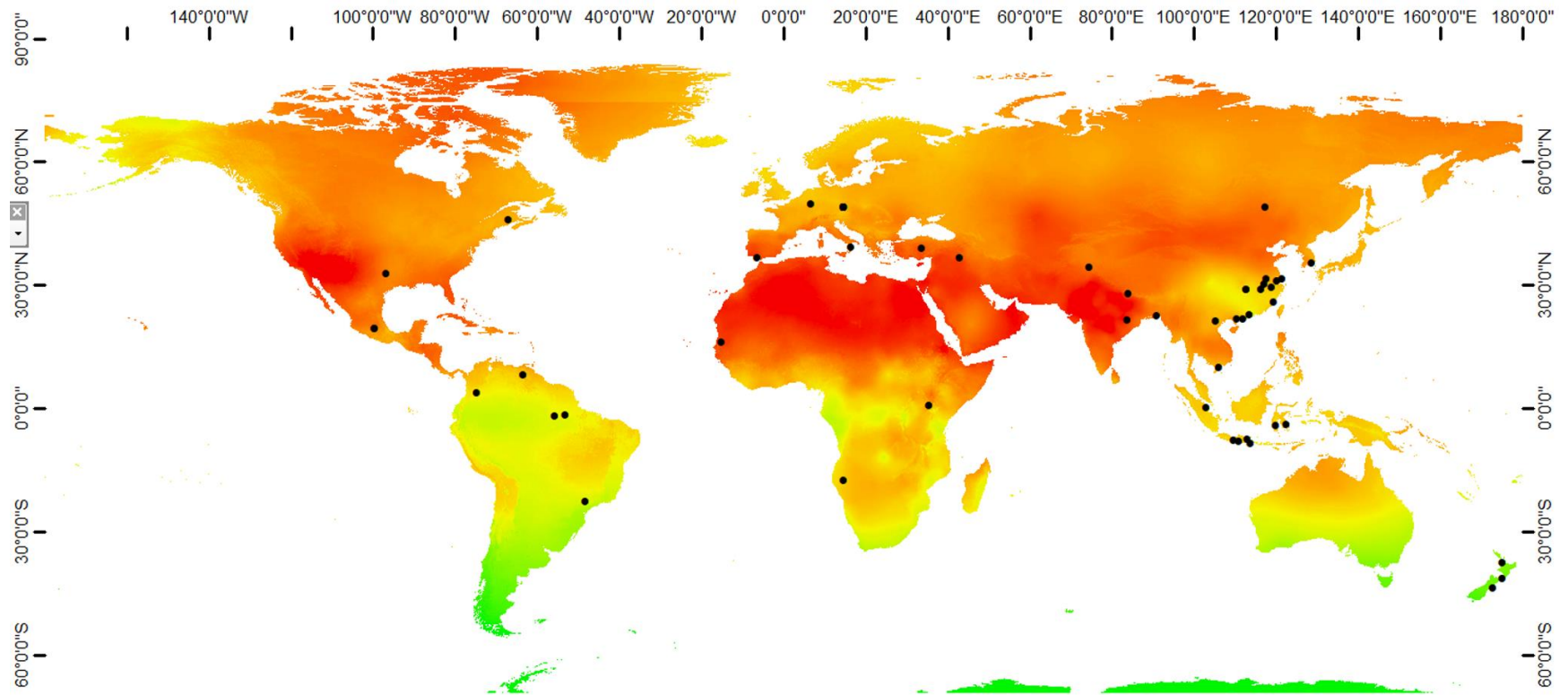
XV.7 RadSol



XV.8 Vientos



XV.9 Altitud



ANEXO XVI. Valores promedios de variables ambientales por cuerpo de agua

Tabla 8.1 Tabla con valores promedios de la Temperatura ambiental máxima

Category	TPROMA1	TPROMA2	TPROMA3	TPROMA4	TPROMA5	TPROMA6	TPROMA7	TPROMA8	TPROMA9	TPROMA10	TPROMA11	TPROMA12
2	0.90	2.50	5.97	10.95	15.03	18.98	21.90	21.66	18.26	13.08	7.51	3.17
3	20.53	22.97	27.28	31.64	34.44	31.82	27.63	27.51	27.33	26.88	23.11	20.50
4	27.16	27.25	27.46	26.69	26.51	26.69	27.12	27.66	27.51	26.61	26.47	26.51
9	15.83	17.52	19.51	23.66	27.27	28.74	28.55	28.32	27.35	24.84	21.52	18.40
10	14.44	15.50	18.72	23.09	26.48	28.07	28.63	28.21	27.20	24.46	20.30	16.53
13	15.60	16.30	19.45	23.20	26.40	28.00	28.65	28.40	27.40	24.90	20.85	17.10
15	26.21	25.90	26.05	26.25	26.35	26.35	26.36	27.17	27.42	27.71	27.40	26.99
16	3.48	4.51	8.13	13.72	18.90	23.10	27.20	27.14	23.05	18.02	12.15	6.09
18	26.17	26.91	28.00	29.23	28.94	28.18	27.93	27.66	27.70	27.50	26.92	26.18
19	10.07	11.13	13.07	14.57	15.57	15.40	14.57	14.50	14.43	13.47	11.87	10.50
20	6.99	10.00	14.30	18.69	23.18	27.42	29.78	29.42	25.52	19.87	13.22	8.63
21	17.54	17.51	16.25	13.64	11.14	9.08	8.37	9.19	10.88	12.56	14.24	16.13
24	25.03	25.12	25.28	25.48	25.25	24.52	23.83	24.03	24.82	25.57	25.61	25.14
25	15.44	15.90	16.23	16.13	15.46	14.54	14.14	14.30	14.64	15.23	15.21	15.11
26	3.19	4.64	8.66	14.66	19.82	23.70	27.71	27.43	22.96	17.91	11.89	5.93
28	26.45	26.50	26.82	27.04	27.10	26.71	26.36	26.64	27.18	27.56	27.15	26.48
29	13.83	14.73	17.90	22.16	25.70	27.80	28.83	28.69	27.38	24.49	19.82	15.69
30	26.70	26.77	26.87	27.13	27.10	26.60	26.03	26.30	26.90	27.70	27.70	26.97
31	14.01	16.23	20.83	24.79	26.37	27.17	27.04	26.73	25.84	23.38	18.63	14.63
32	28.00	27.80	27.80	27.70	27.50	26.60	26.30	26.60	27.40	28.30	28.40	28.10
33	16.70	16.40	15.15	12.60	9.60	7.25	6.70	7.55	9.50	11.50	13.25	15.20
34	23.11	25.10	27.04	28.63	30.16	30.55	29.75	29.41	29.79	29.88	27.44	23.99
35	7.17	8.84	12.80	17.45	23.66	29.42	32.81	32.30	28.52	21.85	14.99	9.25
50	26.40	26.95	27.90	28.59	28.20	27.08	26.73	27.10	27.80	27.85	27.41	26.70
51	-10.41	-8.73	-2.87	3.98	10.96	16.08	19.35	18.58	13.57	7.56	1.45	-6.42
52	11.20	11.45	13.91	18.56	22.59	26.27	29.21	28.79	26.41	22.55	17.98	13.41
54	18.92	19.18	17.97	15.27	12.51	10.31	9.57	10.53	12.14	13.75	15.58	17.43
55	24.63	24.23	23.97	23.48	20.41	17.43	17.22	19.55	23.08	25.41	25.50	25.15
57	24.02	24.00	23.48	21.55	19.09	17.77	17.52	18.80	20.20	21.59	22.74	23.44
74	4.25	6.11	9.95	16.28	21.43	25.17	28.54	28.28	23.86	18.48	12.05	6.41
75	1.53	1.52	3.41	6.14	11.17	14.72	17.26	17.37	14.28	10.43	6.28	2.81
76	3.14	4.84	8.74	15.30	20.52	24.54	27.76	27.69	23.16	17.70	11.18	5.43
77	5.13	6.81	10.85	17.19	22.19	25.68	29.21	28.90	24.79	19.39	13.27	7.60
78	1.73	2.36	5.73	8.73	13.35	16.17	18.22	18.05	14.34	9.91	5.22	2.86
80	25.78	25.88	26.07	26.39	26.36	25.82	25.29	25.79	26.47	27.07	26.64	26.12
81	19.22	21.99	26.01	28.16	28.72	28.28	27.91	27.99	28.18	27.46	24.36	20.41
82	4.78	6.65	10.57	16.93	21.85	25.36	28.76	28.36	23.81	18.42	12.70	7.38
83	-1.50	-0.20	3.70	8.10	13.29	16.20	18.10	18.01	13.33	8.30	3.20	-0.56
84	0.86	2.80	7.30	13.11	17.62	21.22	24.78	25.72	21.25	15.69	9.07	3.23
85	3.23	5.21	9.74	14.99	18.91	23.21	24.54	24.06	21.11	15.64	9.86	5.08
86	26.68	26.33	26.48	26.66	26.70	26.74	26.73	27.60	27.87	28.23	28.06	27.40
87	11.39	12.58	14.37	15.94	18.79	22.24	25.28	25.23	23.29	19.30	15.16	12.41
88	25.16	25.35	25.56	25.84	25.77	25.18	24.38	24.48	24.98	25.68	25.47	25.19
89	25.85	26.41	26.70	26.91	27.17	27.05	26.69	26.59	26.57	26.61	26.25	25.95
90	-21.05	-17.68	-9.38	1.18	9.90	17.15	20.18	18.07	11.08	1.95	-9.39	-17.90
91	5.31	6.27	9.88	16.11	20.92	24.29	27.85	27.68	23.48	18.60	13.04	7.90
92	4.82	6.71	10.69	17.00	22.05	25.63	29.01	28.51	23.89	18.47	12.70	7.36

Simbología: micrómetro (μm), temperatura promedio ambiental (tprom).

Tabla 8.2 Tabla con valores promedios de la Temperatura ambiental máxima

Category	Tmax1	Tmax2	Tmax3	Tmax4	Tmax5	Tmax6	Tmax7	Tmax8	Tmax9	Tmax10	Tmax11	Tmax12
2	4.27	6.36	10.59	15.93	20.46	25.00	28.04	27.83	24.32	18.42	11.95	6.42
3	26.85	29.62	34.39	38.47	40.82	36.60	30.43	30.17	29.62	30.93	28.49	26.62
4	32.48	32.55	32.21	31.21	30.98	31.64	32.72	33.51	33.08	31.41	31.00	31.23
9	18.90	20.19	22.08	26.50	30.67	32.26	31.95	31.75	30.89	28.68	25.32	22.17
10	17.93	18.50	21.60	26.05	29.53	31.06	31.77	31.38	30.60	28.23	24.28	20.65
13	19.40	19.55	22.30	25.90	29.05	30.65	31.55	31.45	30.55	28.40	24.80	21.20
15	30.03	29.71	29.79	29.97	30.10	30.40	30.74	31.77	32.08	32.41	31.94	31.24
16	6.73	7.75	11.45	17.56	22.66	26.27	30.15	30.08	26.07	21.62	15.92	9.93
18	30.04	31.01	32.19	33.28	32.51	31.29	30.89	30.48	30.49	30.32	29.77	29.47
19	19.97	21.20	23.40	24.27	24.23	22.00	20.60	20.67	20.57	20.90	20.70	19.97
20	12.71	15.99	20.51	24.84	28.89	33.14	35.64	35.37	31.39	26.12	19.10	14.39
21	21.73	21.86	20.39	17.59	14.74	12.40	11.87	12.62	14.41	16.26	18.14	20.16
24	28.79	28.98	29.26	29.44	29.17	28.53	27.84	28.13	28.95	29.54	29.40	28.77
25	22.13	22.89	22.87	21.84	21.03	20.11	19.34	19.69	20.94	21.41	20.83	20.96
26	6.13	7.56	11.64	18.04	23.22	26.61	30.57	30.34	25.81	21.09	15.20	9.40
28	29.59	29.77	30.39	30.55	30.59	30.28	30.10	30.63	31.56	31.93	31.07	29.80
29	17.78	18.09	21.00	25.15	28.79	30.99	32.35	32.22	31.00	28.31	24.03	20.12
30	30.30	30.60	30.70	30.90	30.87	30.67	30.27	30.73	31.17	31.63	31.47	30.60
31	20.14	23.10	28.39	32.28	32.72	31.94	30.74	30.69	29.90	28.52	24.93	21.04
32	31.90	31.50	31.70	31.50	31.00	30.10	30.00	30.80	32.10	33.10	32.70	32.10
33	21.70	21.35	19.85	17.55	14.40	11.85	11.10	11.90	14.05	16.30	18.05	20.05
34	30.24	32.69	34.65	36.35	37.31	36.71	34.78	33.99	34.61	36.08	34.59	31.04
35	10.66	12.78	17.07	22.35	29.24	35.43	39.22	38.87	35.13	27.74	19.90	12.98
50	30.96	32.02	33.18	33.75	32.98	31.19	30.91	31.42	32.38	32.53	32.02	31.13
51	-4.75	-2.63	2.76	9.37	17.56	22.78	25.80	24.91	19.62	13.06	5.77	-1.51
52	14.46	14.59	17.21	22.14	25.90	29.55	32.97	32.44	29.71	25.82	21.39	16.92
54	23.78	24.04	22.66	19.94	16.97	14.51	13.87	14.61	16.14	17.88	19.92	22.14
55	30.22	30.28	29.50	29.53	28.08	25.63	25.55	27.88	31.49	33.18	31.92	31.52
57	29.06	28.91	28.58	26.93	24.64	23.55	23.67	24.96	26.01	26.95	27.99	28.58
74	7.38	9.31	13.13	19.95	25.11	28.52	31.88	31.69	27.15	22.15	16.00	10.20
75	3.53	3.58	5.86	9.04	14.57	18.33	20.96	21.03	17.67	13.40	8.83	4.97
76	6.20	7.94	11.81	18.83	24.12	27.77	30.86	31.01	26.36	21.13	14.77	8.95
77	8.46	10.12	13.99	20.60	25.70	28.95	32.91	32.68	28.23	23.13	17.37	11.78
78	3.89	5.31	9.56	13.34	18.36	21.10	23.37	23.44	19.06	13.36	7.76	4.98
80	29.35	29.65	29.82	30.15	30.33	30.28	29.97	30.73	31.43	31.68	30.77	29.89
81	25.41	28.13	31.43	32.28	32.32	30.95	30.33	30.40	30.95	30.77	28.90	26.06
82	8.00	9.79	13.75	20.36	25.18	28.47	32.06	31.69	27.08	21.94	16.34	11.03
83	1.54	3.39	7.84	13.20	18.71	21.60	23.81	23.97	18.50	12.59	6.10	2.20
84	5.99	7.98	12.51	18.44	22.68	25.23	28.08	29.33	25.61	21.12	14.52	8.64
85	8.22	10.19	15.01	20.49	24.83	29.66	30.06	29.52	27.75	23.00	16.90	10.59
86	30.68	30.22	30.32	30.55	30.72	30.88	31.19	32.32	32.80	33.19	32.88	31.83
87	15.36	16.59	19.02	20.50	23.49	27.21	30.90	30.69	28.39	23.83	19.34	16.23
88	28.98	29.48	29.64	29.86	29.88	29.60	28.99	29.15	29.36	29.76	29.21	28.83
89	29.26	30.14	30.64	30.85	31.09	31.00	30.57	30.51	30.41	30.44	29.84	29.27
90	-16.26	-11.99	-3.30	6.83	15.58	22.76	24.88	22.77	15.94	6.69	-4.58	-13.50
91	8.46	9.38	13.12	19.72	24.65	27.63	31.54	31.44	26.85	22.21	16.74	11.70
92	8.34	10.09	14.06	20.72	25.60	28.84	32.29	31.85	27.18	22.18	16.58	11.28
93	15.36	16.59	19.02	20.50	23.49	27.21	30.90	30.69	28.39	23.83	19.34	16.23

Simbología: Identificador (ID), temperatura máxima (tmáx).

Tabla 8.3 Tabla con valores promedios de la temperatura ambiental mínima

Category	TMIN1	TMIN2	TMIN3	TMIN4	TMIN5	TMIN6	TMIN7	TMIN8	TMIN9	TMIN10	TMIN11	TMIN12
2	-2.47	-1.35	1.34	5.96	9.60	12.96	15.76	15.49	12.21	7.74	3.07	-0.09
3	14.20	16.33	20.17	24.81	28.06	27.04	24.85	24.85	25.06	22.84	17.73	14.39
4	21.84	21.94	22.71	22.18	22.05	21.74	21.52	21.80	21.93	21.82	21.94	21.78
9	12.76	14.84	16.95	20.81	23.87	25.23	25.16	24.90	23.81	21.00	17.71	14.64
10	10.96	12.50	15.86	20.13	23.42	25.07	25.49	25.04	23.79	20.69	16.33	12.41
13	11.85	13.15	16.60	20.60	23.65	25.35	25.75	25.35	24.30	21.40	16.90	12.95
15	22.39	22.09	22.31	22.53	22.61	22.31	21.98	22.56	22.75	23.01	22.85	22.75
16	0.24	1.27	4.79	9.88	15.14	19.93	24.26	24.19	20.02	14.42	8.38	2.26
18	22.30	22.81	23.82	25.17	25.36	25.06	24.96	24.84	24.93	24.68	24.09	22.88
19	0.13	1.10	2.67	4.87	6.87	8.80	8.50	8.37	8.30	5.97	2.97	1.07
20	1.29	3.97	8.04	12.51	17.48	21.70	23.90	23.52	19.71	13.61	7.37	2.92
21	13.32	13.14	12.12	9.70	7.53	5.76	4.88	5.75	7.36	8.86	10.31	12.10
24	21.30	21.21	21.30	21.55	21.33	20.53	19.85	19.95	20.66	21.62	21.84	21.51
25	8.80	8.90	9.61	10.43	9.91	9.00	8.97	8.91	8.34	9.04	9.59	9.27
26	0.26	1.73	5.68	11.28	16.42	20.80	24.85	24.51	20.11	14.72	8.58	2.47
28	23.29	23.23	23.25	23.52	23.60	23.14	22.63	22.66	22.81	23.19	23.23	23.16
29	9.86	11.37	14.80	19.19	22.59	24.62	25.28	25.15	23.75	20.69	15.64	11.26
30	23.07	22.90	23.07	23.40	23.30	22.50	21.80	21.90	22.60	23.70	23.93	23.37
31	7.87	9.36	13.26	17.30	20.05	22.40	23.33	22.77	21.78	18.24	12.34	8.22
32	24.10	24.00	24.00	24.00	23.90	23.20	22.70	22.40	22.60	23.50	24.00	24.10
33	11.75	11.50	10.45	7.65	4.80	2.65	2.30	3.20	4.95	6.75	8.45	10.40
34	15.98	17.51	19.41	20.92	23.02	24.39	24.71	24.81	24.97	23.69	20.30	16.93
35	3.68	4.90	8.52	12.55	18.08	23.40	26.40	25.73	21.90	15.95	10.07	5.52
50	21.83	21.87	22.62	23.42	23.42	22.96	22.55	22.76	23.23	23.16	22.82	22.27
51	-16.08	-14.83	-8.49	-1.42	4.35	9.38	12.90	12.23	7.50	2.07	-2.88	-11.32
52	7.94	8.31	10.61	14.97	19.28	23.00	25.46	25.14	23.11	19.27	14.58	9.90
54	14.07	14.30	13.28	10.61	8.04	6.10	5.26	6.46	8.14	9.63	11.25	12.72
55	19.03	18.22	18.43	17.42	12.75	9.24	8.89	11.22	14.67	17.63	19.11	18.77
57	18.98	19.09	18.36	16.17	13.55	11.99	11.36	12.63	14.40	16.23	17.49	18.29
74	1.12	2.92	6.78	12.61	17.75	21.82	25.18	24.87	20.58	14.81	8.10	2.61
75	-0.47	-0.55	0.98	3.22	7.71	11.12	13.54	13.70	10.90	7.43	3.73	0.65
76	0.08	1.76	5.67	11.77	16.93	21.31	24.65	24.38	19.97	14.27	7.59	1.90
77	1.79	3.50	7.71	13.79	18.67	22.42	25.51	25.13	21.35	15.67	9.16	3.43
78	-0.46	-0.58	1.95	4.14	8.31	11.24	13.08	12.64	9.63	6.41	2.64	0.74
80	22.21	22.09	22.31	22.62	22.39	21.36	20.63	20.86	21.53	22.43	22.52	22.33
81	13.03	15.83	20.59	24.05	25.13	25.61	25.49	25.58	25.41	24.16	19.83	14.77
82	1.55	3.50	7.39	13.50	18.51	22.25	25.46	25.02	20.53	14.89	9.06	3.72
83	-4.50	-3.74	-0.50	3.04	7.81	10.79	12.39	12.06	8.17	3.96	0.20	-3.34
84	-4.28	-2.38	2.09	7.78	12.57	17.20	21.47	22.11	16.90	10.25	3.62	-2.17
85	-1.74	0.23	4.47	9.49	13.01	16.75	19.03	18.60	14.46	8.29	2.81	-0.42
86	22.71	22.45	22.63	22.77	22.67	22.59	22.25	22.92	22.93	23.26	23.25	22.96
87	7.40	8.55	9.76	11.41	14.09	17.26	19.64	19.73	18.16	14.76	11.01	8.56
88	21.34	21.24	21.47	21.86	21.66	20.73	19.74	19.81	20.61	21.61	21.71	21.53
89	22.44	22.68	22.76	22.96	23.26	23.10	22.80	22.67	22.72	22.79	22.66	22.60
90	-25.85	-23.38	-15.45	-4.48	4.21	11.55	15.48	13.38	6.22	-2.80	-14.20	-22.30
91	2.15	3.15	6.65	12.48	17.19	20.94	24.17	23.92	20.11	14.98	9.34	4.10
92	1.29	3.33	7.32	13.29	18.51	22.42	25.73	25.16	20.57	14.77	8.82	3.44
93	15.36	16.59	19.02	20.50	23.49	27.21	30.90	30.69	28.39	23.83	19.34	16.23

Simbología: Identificador (ID), Clorofila (chl-a), temperatura mínima (tmín).

Tabla 8.4 Tabla con valores promedios de TASA

Category	TASA1	TASA2	TASA3	TASA4	TASA5	TASA6	TASA7	TASA8	TASA9	TASA10	TASA11	TASA12
2	-6.00	-2.75	8.56	21.36	35.03	33.24	41.86	43.71	35.34	26.98	7.48	-24.15
3	25.71	27.56	32.34	38.32	35.13	37.51	28.07	42.12	29.45	28.81	28.09	25.28
4	29.14	29.09	24.52	27.82	26.21	29.07	28.88	28.86	33.00	31.05	27.79	24.15
9	25.17	26.99	23.51	26.63	34.87	31.68	33.26	30.71	30.08	29.74	30.07	21.82
10	21.15	23.53	23.49	25.06	30.55	29.78	29.97	29.31	28.08	27.81	26.09	15.70
13	20.21	19.87	21.71	24.82	25.85	29.06	31.31	28.95	28.89	28.27	24.95	15.37
15	35.11	27.06	34.42	28.77	31.37	29.35	34.41	36.08	37.26	39.16	36.35	38.50
16	9.93	15.58	22.65	26.10	33.44	29.05	26.98	36.99	32.46	28.08	23.43	4.39
18	29.34	30.95	34.08	33.93	36.22	32.02	32.61	31.04	31.13	30.99	29.44	27.11
19	22.47	29.56	33.79	37.89	32.08	31.72	25.60	23.14	23.95	23.96	24.05	20.78
20	13.35	19.17	25.13	28.41	31.90	38.81	39.66	41.10	36.35	32.10	22.38	10.46
21	27.11	25.73	22.56	18.29	14.79	10.15	9.17	10.02	15.49	16.80	22.77	18.14
24	29.67	28.63	29.07	31.45	30.11	28.98	30.84	32.77	37.01	36.86	35.54	34.89
25	18.41	14.07	24.73	15.64	8.41	13.88	16.09	16.89	17.69	8.47	10.09	9.48
26	6.79	13.97	21.46	23.26	32.45	24.83	28.45	35.40	27.77	25.03	20.67	4.03
28	25.95	28.86	30.36	29.08	27.45	27.68	24.46	29.85	32.92	33.19	37.11	29.36
29	21.21	22.54	27.50	28.94	25.72	35.31	28.86	45.09	31.03	32.94	29.93	18.76
30	28.23	26.29	27.15	27.82	31.06	29.81	28.87	28.81	30.77	31.89	31.98	0.25
31	18.04	21.24	27.54	30.37	29.33	30.57	30.89	26.52	28.23	28.88	26.01	17.93
32	31.50	0.01	27.70	32.51	31.36	0.02	23.78	28.48	31.05	30.82	30.54	34.45
33	24.22	24.01	21.44	17.29	12.25	10.75	7.06	9.98	15.03	15.69	20.02	18.98
34	28.56	39.67	42.06	54.38	51.07	35.31	39.95	41.71	35.18	36.94	45.58	40.44
35	1.64	-5.97	10.17	16.83	37.78	47.18	50.10	48.65	44.95	35.31	12.64	-10.05
50	32.23	32.21	39.20	38.62	34.61	31.90	29.20	28.70	31.26	30.86	30.76	28.57
51	-5.81	-5.78	1.98	16.04	18.95	26.86	27.29	29.00	20.19	14.65	7.26	-13.78
52	16.58	18.90	23.80	27.70	35.26	34.03	35.44	36.63	28.05	30.33	25.00	21.55
54	25.76	27.27	22.72	17.51	14.69	12.91	9.21	11.50	14.85	18.83	19.94	18.99
55	36.62	36.84	11.58	24.58	22.83	23.29	23.64	31.92	37.77	47.66	53.55	51.62
57	29.71	30.21	32.78	29.41	26.30	23.56	24.03	31.31	37.40	45.10	36.95	33.22
74	9.86	14.21	21.64	21.04	29.23	27.50	27.91	31.04	29.29	24.31	21.95	6.37
75	-10.65	-30.08	-6.69	-1.58	0.46	6.23	17.40	21.03	14.46	1.40	-11.62	-33.20
76	6.61	14.52	21.42	21.72	30.50	28.09	31.63	34.23	29.14	24.38	21.36	10.69
77	12.64	18.05	22.64	22.67	29.58	28.75	30.53	33.60	34.61	27.10	24.14	9.43
78	3.34	2.41	12.55	16.50	21.28	31.21	27.76	28.47	26.31	14.99	7.26	-1.32
80	28.83	28.05	29.57	29.92	29.23	29.34	30.36	34.09	38.40	37.70	36.67	28.49
81	25.30	27.58	32.18	31.86	32.93	34.67	28.56	28.41	28.78	29.86	28.73	29.21
82	12.31	17.64	22.67	21.11	33.26	34.37	29.72	35.98	23.59	25.42	22.02	4.61
83	-2.80	-2.46	7.76	16.16	22.06	24.56	23.75	28.24	23.98	13.94	6.51	-15.95
84	7.43	14.32	18.35	24.68	30.19	27.67	29.29	34.84	31.24	25.88	17.88	4.84
85	1.96	12.44	16.94	17.30	23.21	28.10	28.42	29.46	26.99	23.74	18.47	-1.18
86	26.49	22.13	24.14	26.42	25.20	25.25	28.46	32.36	35.84	33.59	29.28	30.58
87	-2.08	17.98	8.09	12.55	12.93	31.42	39.61	39.63	31.83	23.82	5.06	-13.34
88	27.12	28.41	27.44	27.68	27.54	27.52	27.56	29.85	32.41	29.33	30.59	28.61
89	27.73	29.19	31.16	34.09	32.78	28.00	27.31	32.54	29.46	31.79	28.99	14.11
90	-16.32	-8.66	4.88	17.44	22.24	31.21	34.24	24.33	22.08	10.79	1.49	-10.04
91	12.01	13.35	20.14	22.27	29.68	41.75	30.80	33.97	29.65	25.98	20.61	6.99
92	10.29	15.23	18.09	18.48	27.89	28.88	24.51	29.96	22.71	22.42	21.52	5.82
93	15.36	16.59	19.02	20.50	23.49	27.21	30.90	30.69	28.39	23.83	19.34	16.23

Simbología: Identificador (ID), temperatura ambiental de la superficie de agua (TASA).

Tabla 8.5 Tabla con valores promedios de vapor de agua

Category	VAPA1	VAPA2	VAPA3	VAPA4	VAPA5	VAPA6	VAPA7	VAPA8	VAPA9	VAPA10	VAPA11	VAPA12
2	0.49	0.52	0.62	0.80	1.05	1.22	1.32	1.28	1.06	0.89	0.71	0.59
3	1.35	1.41	1.45	1.70	2.13	2.73	3.07	3.07	3.01	2.48	1.77	1.39
4	2.57	2.55	2.62	2.68	2.68	2.55	2.37	2.33	2.46	2.63	2.71	2.66
9	1.45	1.77	2.06	2.52	2.87	3.21	3.18	3.21	3.01	2.54	2.04	1.61
10	1.20	1.39	1.78	2.32	2.80	3.06	3.12	3.09	2.77	2.17	1.58	1.24
13	1.31	1.48	1.91	2.43	2.92	3.16	3.21	3.15	2.89	2.29	1.69	1.32
15	2.89	2.90	2.94	2.97	3.00	2.92	2.87	2.88	2.88	2.87	2.91	2.89
16	0.59	0.63	0.84	1.23	1.70	2.35	3.05	3.01	2.28	1.57	1.04	0.68
18	2.49	2.50	2.66	2.89	3.09	3.07	3.03	3.04	3.05	3.01	2.83	2.60
19	0.74	0.73	0.74	0.82	0.96	1.16	1.20	1.22	1.21	1.07	0.88	0.79
20	0.67	0.77	1.00	1.34	1.91	2.36	2.44	2.36	1.98	1.44	1.01	0.71
21	1.42	1.45	1.35	1.21	1.10	0.96	0.92	0.93	1.00	1.08	1.15	1.31
24	2.77	2.79	2.79	2.75	2.64	2.49	2.27	2.27	2.36	2.52	2.67	2.74
25	1.10	1.06	1.17	1.33	1.37	1.31	1.34	1.34	1.27	1.28	1.27	1.17
26	0.57	0.63	0.86	1.26	1.74	2.38	3.02	2.94	2.25	1.55	1.02	0.65
28	2.87	2.86	2.87	2.89	2.89	2.79	2.63	2.49	2.47	2.67	2.79	2.83
29	1.11	1.26	1.65	2.18	2.66	3.01	3.11	3.09	2.72	2.10	1.48	1.12
30	2.92	2.95	2.96	2.94	2.80	2.65	2.37	2.32	2.39	2.58	2.77	2.89
31	1.14	1.25	1.46	1.67	2.19	2.83	3.02	2.90	2.82	2.19	1.60	1.26
32	3.02	3.02	3.05	3.07	3.06	2.96	2.87	2.74	2.75	2.84	2.97	3.02
33	1.29	1.34	1.22	1.06	0.90	0.77	0.75	0.78	0.86	0.95	1.03	1.19
34	0.86	0.91	1.05	1.26	1.53	2.05	2.51	2.77	2.76	2.05	1.32	1.00
35	0.69	0.74	0.89	1.06	1.10	1.01	1.08	1.11	1.01	1.00	0.88	0.85
50	2.51	2.44	2.47	2.61	2.72	2.79	2.76	2.78	2.78	2.77	2.75	2.64
51	0.24	0.26	0.36	0.55	0.86	1.27	1.61	1.55	1.20	0.79	0.54	0.34
52	0.97	1.04	1.25	1.66	2.16	2.73	3.03	2.97	2.56	1.94	1.46	1.08
54	1.59	1.64	1.53	1.36	1.21	1.08	1.01	1.03	1.11	1.21	1.30	1.46
55	1.64	1.74	1.78	1.52	1.07	0.82	0.69	0.70	0.75	1.01	1.29	1.40
57	2.34	2.39	2.27	1.97	1.69	1.46	1.36	1.44	1.68	1.97	2.07	2.25
74	0.60	0.68	0.92	1.37	1.89	2.48	3.03	2.95	2.22	1.51	0.99	0.67
75	0.59	0.55	0.63	0.73	0.94	1.19	1.29	1.33	1.23	1.05	0.84	0.68
76	0.56	0.63	0.85	1.29	1.80	2.42	3.02	2.93	2.18	1.47	0.94	0.63
77	0.65	0.74	0.99	1.44	1.92	2.47	2.91	2.86	2.23	1.54	1.03	0.70
78	0.59	0.58	0.69	0.77	1.06	1.30	1.44	1.46	1.26	1.00	0.75	0.64
80	2.78	2.79	2.81	2.79	2.69	2.52	2.32	2.27	2.36	2.56	2.70	2.75
81	1.63	1.83	2.47	3.03	3.23	3.33	3.30	3.29	3.27	3.01	2.34	1.80
82	0.66	0.75	1.01	1.51	2.03	2.61	3.02	2.98	2.27	1.58	1.07	0.73
83	0.47	0.48	0.59	0.73	1.02	1.27	1.40	1.40	1.16	0.88	0.66	0.51
84	0.37	0.43	0.61	0.92	1.32	1.88	2.53	2.60	1.88	1.21	0.74	0.47
85	0.52	0.57	0.72	0.92	1.12	1.36	1.80	1.86	1.37	0.95	0.68	0.55
86	2.89	2.90	2.94	2.98	3.02	2.96	2.90	2.91	2.88	2.88	2.92	2.89
87	1.09	1.13	1.19	1.26	1.46	1.73	1.94	2.00	1.88	1.60	1.36	1.19
88	2.76	2.76	2.78	2.79	2.75	2.62	2.47	2.42	2.48	2.62	2.72	2.75
89	2.89	2.92	3.02	3.12	3.15	3.08	3.03	3.01	3.00	2.99	2.99	2.94
90	0.08	0.10	0.18	0.31	0.52	1.06	1.56	1.41	0.79	0.37	0.19	0.10
91	0.65	0.75	1.01	1.46	1.96	2.55	2.97	2.90	2.34	1.60	1.08	0.72
92	0.66	0.75	1.01	1.50	2.03	2.61	3.03	2.99	2.27	1.58	1.07	0.73
93	15.36	16.59	19.02	20.50	23.49	27.21	30.90	30.69	28.39	23.83	19.34	16.23

Simbología: Identificador (ID), vapor de agua (VAPA).

Tabla 8.6 Tabla con valores promedios de radiación solar (RadSol)

Category	RadSol1	RadSol2	RadSol3	RadSol4	RadSol5	RadSol6	RadSol7	RadSol8	RadSol9	RadSol10	RadSol11	RadSol12
2	7439	10318	14240	19122	23270	26636	28744	26307	20906	14464	9454	6735
3	17041	19843	23036	24752	25257	19484	15252	15264	16823	17822	17361	16287
4	18512	19530	17400	15986	15481	15951	16751	16861	17400	15905	16033	16693
9	9509	10796	12656	15167	17869	18080	18304	17740	17153	15061	12389	10120
10	11566	11951	13510	16248	18601	19205	21268	20192	18830	17157	14169	12464
13	12173	11916	12994	15227	17805	18570	21254	19880	18448	17015	14525	12653
15	13779	13105	13017	13328	14379	15828	17424	19082	20129	19786	17925	15206
16	9371	10786	13806	16505	18432	18515	20763	20885	16742	13814	10539	8842
18	17353	19327	20419	20105	18066	17507	16675	17521	16550	16674	16006	16064
19	15943	18753	20598	20732	20790	19770	19423	19460	17309	17317	16326	14850
20	9022	11868	15180	19256	20696	23257	24713	22180	18047	13769	9786	8711
21	23411	19894	15043	10418	6700	5119	5738	8186	12638	17197	21342	22859
24	16811	17761	18152	18146	16388	15825	16050	17426	19590	20881	19499	17996
25	20085	20915	20122	17929	17880	17733	15580	16201	19412	19131	17859	18557
26	9507	10730	13552	16093	18156	18412	21158	21194	16850	13904	10632	9013
28	15382	17395	18004	18463	17482	16734	17839	19441	21623	22230	20405	16934
29	9473	8923	9286	11136	14515	14927	17909	16674	15796	14760	12607	10789
30	17301	17867	18000	18648	16906	17264	18112	20246	22435	22629	20821	18039
31	13387	16909	20054	22346	21906	19300	18688	17735	17104	16698	14466	12499
32	15640	17075	18161	18351	17194	16182	17268	19034	21004	21573	19714	17259
33	22160	18946	14000	9752	6170	4717	5343	7895	12386	17305	21067	22696
34	17576	20156	22653	24559	23785	22170	21796	20924	21119	20044	17905	16471
35	8780	11488	15194	19043	23752	27911	28035	25591	20916	14887	10558	8204
50	16941	18774	20032	18825	17820	17374	18227	18965	19702	19149	18113	16130
51	5253	8486	12180	15470	18365	20338	19931	17690	13167	8356	4979	4100
52	9790	11133	12437	15140	16290	17614	21708	20420	17464	14262	11463	9995
54	23720	20431	16120	11700	8090	6416	7349	9752	13487	17670	21320	23494
55	20010	20248	19188	18206	16845	15484	16058	18197	19894	20386	21219	20980
57	17385	16688	16465	15074	12417	10874	12067	14352	15580	17246	18143	17837
74	9562	10821	13221	15582	17650	18526	21875	21356	16855	13684	10483	9000
75	7069	9804	13438	17237	20822	23170	24198	21912	17026	12122	8307	6187
76	9582	10931	13929	16409	18824	19531	21097	21411	16734	13914	10774	9321
77	9466	10209	12502	14881	16770	17616	22491	21323	17725	13915	10774	9134
78	2763	5361	9020	13863	17801	19057	18775	16233	11391	6641	3303	2162
80	17233	17569	18027	18206	17006	17037	17982	19498	20946	20881	19959	17981
81	16301	18458	20522	21758	21266	16779	16311	15691	17157	17516	16844	16261
82	8169	9301	11640	14161	15813	16757	21484	20726	16555	12346	9567	8132
83	3129	5929	9502	14418	18123	19238	18674	16467	11413	6962	3402	2401
84	8906	11077	13535	16830	18487	17170	15869	16555	13597	12513	9447	8302
85	7384	10070	13611	17939	21542	24019	21806	20471	18473	15298	11450	7828
86	14522	13870	13885	13712	14563	15975	17501	18833	20097	19336	18162	15329
87	9125	12198	15560	20751	24577	27091	27725	25071	19473	14386	9898	7782
88	16692	17249	17303	17703	17101	16767	17462	18704	19422	19470	19430	17995
89	16312	18328	18043	17185	16653	16149	16422	16828	16398	15769	14291	14096
90	6282	10133	14779	18337	21551	22982	21082	18432	14569	10524	6789	5087
91	9556	10465	12776	15250	17193	17671	21772	21312	17194	13868	10755	9199
92	8152	9274	11657	14173	15815	16722	21322	20631	16488	12339	9533	8131
93	15.36	16.59	19.02	20.50	23.49	27.21	30.90	30.69	28.39	23.83	19.34	16.23

Simbología: Identificador (ID), radiación solar (RadSol).

Tabla 8.7 Tabla con valores viento (wind)

Category	Wind1	Wind2	Wind3	Wind4	Wind5	Wind6	Wind7	Wind8	Wind9	Wind10	Wind11	Wind12
2	1.90	2.20	2.40	2.32	2.16	2.30	2.71	2.60	2.05	1.80	1.61	1.85
3	1.09	1.16	1.42	1.57	1.96	2.06	2.06	1.64	1.30	1.03	0.90	0.90
4	1.00	1.10	1.00	0.90	0.90	1.00	1.12	1.14	1.10	1.00	0.97	1.00
9	1.45	1.58	1.56	1.64	1.53	1.57	1.54	1.21	1.20	1.25	1.31	1.30
10	1.89	2.08	2.16	2.03	2.05	2.04	2.07	1.63	1.67	1.73	1.94	1.99
13	3.25	3.70	3.25	3.20	3.30	3.15	3.00	2.70	2.90	3.40	3.40	3.65
15	1.51	1.38	1.37	1.30	1.20	1.19	1.31	1.50	1.64	1.78	1.81	1.62
16	4.42	4.34	4.45	4.49	4.22	4.13	4.22	4.02	4.07	4.11	4.00	3.92
18	1.84	1.70	1.82	1.54	1.56	1.81	2.20	2.11	1.83	1.58	1.81	1.78
19	2.40	2.70	2.80	2.70	2.60	2.50	2.40	2.40	2.40	2.40	2.30	2.23
20	4.00	4.20	4.60	4.60	4.20	3.90	3.40	3.10	3.20	3.40	3.80	4.00
21	4.76	4.43	4.44	3.85	4.58	4.60	5.29	4.73	4.91	5.25	5.14	5.03
24	2.46	2.14	2.10	2.03	2.18	2.41	2.91	2.62	2.71	2.16	2.07	2.12
25	2.57	2.54	2.26	2.49	1.73	1.94	1.99	2.00	2.29	2.26	2.34	2.47
26	2.43	2.47	2.77	2.92	2.79	2.69	2.98	2.67	2.45	2.27	2.16	2.06
28	1.01	1.09	1.04	1.03	0.92	1.09	1.08	1.29	1.60	1.29	1.12	1.08
29	2.34	2.51	2.29	2.20	2.24	2.16	2.33	2.13	2.24	2.55	2.39	2.46
30	3.13	2.60	2.43	2.43	2.90	2.83	2.37	3.60	3.33	3.40	2.90	2.60
31	0.87	1.22	1.47	1.69	1.80	1.69	1.29	1.10	0.99	0.80	0.61	0.78
32	2.40	2.20	2.00	2.10	2.00	1.70	1.80	2.00	2.20	2.10	2.00	1.90
33	5.65	5.45	5.05	4.55	5.20	4.95	4.50	5.40	5.65	5.85	5.75	5.60
34	3.31	3.54	3.63	3.70	3.73	3.59	3.38	2.86	2.66	2.66	2.51	2.96
35	2.00	2.21	2.58	2.56	2.65	2.93	3.08	2.75	2.21	1.84	1.72	1.72
50	3.02	3.41	3.61	3.39	3.00	2.50	2.18	1.96	2.00	2.20	2.39	2.69
51	3.50	3.59	3.79	3.65	3.36	2.96	2.66	2.52	2.81	3.12	3.39	3.50
52	2.48	2.72	2.71	2.32	2.32	2.63	2.92	2.77	2.52	2.95	3.27	2.81
54	3.56	3.29	3.24	3.29	3.64	3.48	3.69	3.95	3.93	4.29	4.39	3.76
55	2.03	2.23	2.07	2.25	2.00	2.10	2.20	2.20	2.27	2.60	2.38	2.12
57	1.96	1.90	1.90	1.85	1.70	1.70	1.86	2.10	2.40	2.40	2.45	2.20
74	2.11	2.31	2.51	2.70	2.51	2.46	2.53	2.45	2.19	2.20	2.19	2.08
75	4.00	4.62	3.91	3.77	2.90	2.50	2.35	2.46	2.90	3.30	3.71	4.39
76	2.44	2.45	2.84	2.86	2.80	2.52	2.62	2.50	2.26	2.22	2.23	2.08
77	2.07	2.29	2.26	2.37	2.42	2.36	2.30	2.23	2.13	1.98	1.98	1.89
78	3.72	3.52	3.62	3.32	3.01	2.86	2.82	2.61	2.81	3.00	3.33	3.57
80	1.75	1.55	1.86	1.88	2.05	2.13	2.05	3.18	2.58	1.97	1.55	1.45
81	1.22	1.61	2.23	3.11	2.89	2.93	3.05	2.56	1.89	1.39	1.29	1.23
82	1.93	2.00	2.12	2.29	2.08	2.03	1.98	1.87	1.78	1.94	1.82	1.85
83	2.63	2.67	2.73	2.60	2.60	2.30	2.20	2.00	2.10	2.34	2.40	2.60
84	2.31	2.37	2.65	2.93	2.49	2.26	2.34	2.28	2.21	1.91	2.02	2.05
85	0.63	0.52	0.96	1.15	1.47	1.41	1.27	1.30	0.98	0.70	0.40	0.55
86	1.40	1.30	1.30	1.20	1.10	1.10	1.20	1.33	1.50	1.60	1.60	1.43
87	3.51	3.76	3.74	3.81	4.07	3.61	3.51	3.34	3.09	3.26	3.45	3.56
88	1.81	2.01	1.78	1.83	1.78	1.93	2.04	2.20	2.18	2.05	1.18	1.53
89	2.51	2.32	2.00	1.78	1.75	1.97	2.11	2.04	1.98	1.89	1.74	2.02
90	2.88	2.99	3.70	4.80	4.63	3.64	3.17	2.97	3.46	3.58	3.28	2.96
91	2.17	2.17	2.52	2.68	2.70	2.59	2.77	2.58	2.39	2.01	1.95	1.90
92	1.99	2.06	2.15	2.29	2.03	2.05	1.90	1.87	1.72	1.99	1.90	1.90
93	15.36	16.59	19.02	20.50	23.49	27.21	30.90	30.69	28.39	23.83	19.34	16.23

Simbología: Identificador (ID), viento (wind)

Tabla 8.8 Tabla con valores promedios de la precipitación

Category	1Pres1	1Pres2	1Pres3	1Pres4	1Pres5	1Pres6	1Pres7	1Pres8	1Pres9	1Pres10	1Pres11	1Pres12
2	52.3	43.8	42.3	47.3	46.3	25.6	7.5	4.1	11.1	26.2	42.5	59.2
3	13.0	19.9	25.7	13.7	20.1	212.3	435.0	429.0	276.3	61.5	4.5	4.1
4	79.6	115.0	168.8	247.2	185.4	110.6	49.3	67.1	162.4	291.7	245.4	135.2
9	19.4	34.1	38.6	84.9	185.3	226.0	304.3	313.2	249.3	130.2	45.3	23.8
10	35.0	57.0	65.3	167.0	255.1	276.6	229.7	285.5	169.8	93.2	43.4	23.9
13	36.5	57.0	81.5	204.0	374.0	363.5	267.5	364.0	249.5	112.0	47.5	26.5
15	236.9	270.7	326.6	313.6	253.7	153.8	108.8	62.7	39.4	46.7	78.8	129.4
16	36.7	49.8	65.4	80.8	95.0	158.5	155.9	127.5	124.5	50.6	48.1	33.2
18	5.9	1.2	6.6	42.2	165.2	178.5	193.3	192.2	237.1	252.2	123.5	32.4
19	14.7	9.3	12.7	26.0	69.0	158.3	190.3	157.3	130.0	64.0	19.0	11.0
20	48.0	60.1	74.7	94.1	126.4	86.5	58.3	56.2	90.8	96.4	59.6	53.5
21	64.1	64.6	97.1	97.8	147.8	139.4	163.4	143.4	89.1	88.9	81.1	82.0
24	303.7	264.5	267.5	157.7	133.4	57.1	35.4	18.5	50.5	108.0	191.4	281.6
25	30.0	49.7	76.7	182.4	152.9	71.7	122.4	123.6	66.0	91.0	121.1	60.7
26	45.5	57.2	65.2	79.5	95.3	157.8	135.1	145.6	117.2	35.3	38.5	34.3
28	138.3	125.9	139.2	204.3	224.8	183.9	170.2	109.7	106.1	104.6	129.0	170.1
29	40.0	66.5	90.3	188.0	265.4	275.0	242.4	242.8	147.0	72.6	40.3	34.6
30	266.0	274.3	231.3	149.0	93.3	55.3	23.7	6.0	8.7	23.0	82.3	192.3
31	19.2	12.5	34.8	74.4	225.0	449.9	645.5	575.7	318.5	98.8	5.8	7.6
32	188.0	209.0	239.0	226.0	256.0	237.0	162.0	96.0	92.0	76.0	101.0	177.0
33	51.0	46.0	65.0	71.0	109.5	77.5	156.5	90.0	52.0	60.5	58.5	59.0
34	1.2	1.3	0.8	0.8	0.7	10.9	45.5	89.5	71.5	13.0	1.7	0.9
35	119.5	135.7	126.1	102.1	39.6	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	74.5	117.9
50	24.4	18.1	24.8	62.3	140.9	209.6	168.7	158.3	118.9	104.1	97.3	61.5
51	96.4	63.8	85.3	85.9	99.2	86.7	97.5	87.9	90.8	92.9	102.5	96.5
52	44.6	79.5	131.6	147.3	183.8	248.5	115.9	132.1	120.9	45.6	36.7	34.4
54	86.7	83.9	97.4	98.7	112.9	126.8	133.4	126.5	115.6	99.1	94.0	103.3
55	104.0	100.5	98.0	25.3	1.7	0.0	0.0	0.0	0.2	11.0	34.3	45.8
57	225.3	210.3	135.3	56.7	47.6	46.5	29.2	26.9	52.3	127.4	119.2	184.1
74	38.3	77.6	125.6	170.5	176.1	281.7	146.5	148.5	125.7	94.5	76.2	34.8
75	100.0	92.3	81.8	61.4	50.8	27.0	21.5	31.3	52.2	111.4	111.5	118.0
76	25.5	51.2	85.3	111.1	111.4	191.8	165.1	134.1	111.8	77.9	62.6	24.7
77	60.6	96.3	160.6	211.3	226.9	271.7	137.6	110.2	83.5	72.0	63.1	42.4
78	64.9	54.5	60.8	52.6	66.4	67.0	70.4	57.5	62.8	67.8	69.5	77.1
80	355.1	328.0	297.4	195.5	112.1	63.1	31.5	21.0	42.1	128.8	207.1	295.0
81	6.7	25.2	49.6	134.5	276.1	506.9	578.0	482.4	323.2	171.9	55.7	7.3
82	49.2	71.3	123.3	170.7	179.7	199.3	107.4	112.3	71.3	84.9	72.3	43.1
83	34.6	32.1	40.1	42.1	65.1	79.4	85.7	69.3	47.7	38.0	43.0	41.3
84	28.2	39.4	63.7	111.8	117.0	194.3	252.8	233.1	151.0	51.6	45.4	20.2
85	50.5	83.6	115.3	132.2	72.4	33.5	44.8	48.4	37.0	48.0	27.0	36.9
86	265.2	284.6	350.0	319.3	242.6	104.6	74.8	49.7	50.1	67.3	108.5	161.3
87	80.3	54.4	37.6	47.2	29.5	13.1	1.0	4.0	16.0	59.6	80.3	93.6
88	383.4	342.1	372.3	294.7	200.9	115.6	60.4	44.2	81.4	234.0	375.8	401.1
89	198.7	162.4	194.4	218.3	185.9	126.7	120.5	144.3	168.8	215.1	259.5	219.3
90	1.2	1.2	2.1	8.6	15.1	40.4	76.8	65.8	30.6	8.0	3.5	2.0
91	53.0	100.5	149.2	171.3	212.3	251.8	146.0	105.1	121.9	83.6	62.6	39.2
92	49.4	71.3	123.2	169.9	179.8	200.2	108.9	113.2	71.6	84.8	72.8	43.0
93	15.36	16.59	19.02	20.50	23.49	27.21	30.90	30.69	28.39	23.83	19.34	16.23

Simbología: Identificador (ID), Precipitación (Pres)

Tabla 8.9 Altitud (msnm)

Nombre_ID	Altitud
3 Río Brahmani, Orissa	188.85
4 Embalse de Pradp, Tolima, Colombia	372.05
9 Red River basin in Northern Vietnam	14.62
10 Hedi Reservoir BasinZhanjiang, Guangdong Province, and Yulin, Guangxi Province, in China	36.42
13 Moyangjiang River Estuary	1.00
15 Tapajós River Basin in the Brazilian Amazon	7.13
16 Estuary of Yangtze River in East China	3.34
18 Mekong River – Mekong Delta in Viet Nam	1.71
19 P. J. A. Alzate, México	2572.00
20 Lady Bird Lake.	133.46
21 Lakes Onoke and Wairarapa	1.74
24 Boundary of Indonesian	128.45
25 Chebara Dam	2381.00
26 Lake Taihu	13.89
28 Lake Tempe,South Sulawesi	5.70
29 Pearl River Estuary	2.07
30 Sidoarjo Regency	1.33
31 Bijayapur Khola	587.08
32 Kendari Bay	6.00
33 LYTTELTON HARBOUR	36.00
34 Senegal River Basin B	8.41
35 Mosul Dam Lake	309.86
50 Orinoco River, Venezuela	10.12
51 Saint John River (SJR)	41.63
52 Fuzhou City	4.95
54 Waikare	7.82
55 Oloshiganda Cuvelai-Etosha Basin	1103.17
57 Piracicaba and Tietê rivers i	452.22
74 Shengjin Lake	11.64
75 Basilicata, Italia	1292.50
76 Chaohu Lake.	5.23
77 Poyang Lake, China	13.06
78 Rhine River	191.64
80 Gajahmungkur Reservoir, Indonesia	137.98
81 Hugli estuary	5.22
82 Lake Dongting	26.16
83 Thacsech Republic m	414.57
84 Nakdong River	9.60
85 Wular Lake Himalayan Lake (Kashmir)	1574.69
86 Amazonas Lake Paru	2.27
87 Peninsula de Guadalquivir Río Guadalquivir	1.07
88 Wadaslintang Reservoir	191.75
89 Kampar River estuary	8.38
90 Hulun Lake	540.05
91 Xin'anjiang Reservoir	106.09
92 igual con 82 Dongting Lake in China (PARTE B)	27.18
93 Guadalquivir (sección B)	3.01

Simbología: Identificador (ID), altitud (altitud m).

Continuación...

TMÁX																																								
S	Xbarra	26.1 N1	84 S1_2	64.9																																				
8.06	Xbarra	22.8 N2	60 s2_2	136	SC12_	94.6		t2	2.02				gl2	142		t2	1.98																							
11.7	Xbarra	27 N3	60 S3_2	57.1	SC13_	61.7	96.7	t3	-0.61	-2.3			gl3	142	118	t3	1.98	1.98																						
7.55	Xbarra	22.9 N4	48 S4_2	63.1	SC14_	64.3	104	59.8	t4	2.26	-0.02	2.73	gl4	130	106	106	t4	1.98	1.98	1.98																				
7.94	Xbarra	22.3 N5	72 S5_2	45.9	SC15_	56.1	87	51	52.7	t5	3.22	0.34	3.75	0.43	gl5	154	130	130	118	t5	1.98	1.98	1.98	1.98																
6.77	Xbarra	23.9 N6	48 S6_2	62.2	SC16_	63.9	103	59.9	62.7	52.4	t6	1.57	-0.53	2.05	-0.63	-1.19	gl6	130	106	106	94	118	t6	1.98	1.98	1.98	1.99	1.98												
7.89	Xbarra	19.8 N7	24 S7_2	78.3	SC17_	67.8	120	63	68.1	53.8	67.5	t7	3.33	1.15	3.73	1.49	1.43	1.99	gl7	106	82	82	70	94	70	t7	1.98	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99								
8.85	Xbarra	20.7 N8	48 S8_2	129	SC18_	88.3	133	89.2	96.3	79.2	95.8	113	t8	3.18	0.93	3.4	1.06	0.93	1.57	-0.36	gl8	130	106	106	94	118	94	70	t8	1.98	1.98	1.98	1.99	1.98	1.99	1.99				
11.4	Xbarra	27.4 N9	60 S9_2	46.9	SC19_	57.4	91.6	52	54.1	46.3	53.7	55.7	83.5	t9	-1.02	-2.64	-0.38	-3.22	-4.35	-2.52	-4.24	-3.79	gl9	142	118	118	106	130	106	82	106	t9	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.99	2.0
		alfa	0.05																																					
TPROM																																								
S	Xbarra	22 N1	84 S1_2	63																																				
7.94	Xbarra	18.8 N2	60 s2_2	145	SC12_	97.3		t2	1.89				gl2	142		t2	1.98																							
12.1	Xbarra	22.5 N3	60 S3_2	55.9	SC13_	60.1	101	t3	-0.38	-1.99			gl3	142	118	t3	1.98	1.98																						
7.47	Xbarra	19 N4	48 S4_2	62.5	SC14_	62.8	109	58.8	t4	2.09	-0.08	2.35	gl4	130	106	106	t4	1.98	1.98	1.98																				
7.9	Xbarra	17.7 N5	72 S5_2	42	SC15_	53.4	88.9	48.3	50.2	t5	3.7	0.72	3.98	1.02	gl5	154	130	130	118	t5	1.98	1.98	1.98	1.98																
6.48	Xbarra	19.4 N6	48 S6_2	60.9	SC16_	62.3	108	58.6	61.7	49.5	t6	1.83	-0.26	2.09	-0.24	-1.31	gl6	130	106	106	94	118	t6	1.98	1.98	1.98	1.99	1.98												
7.81	Xbarra	16.2 N7	24 S7_2	75.3	SC17_	65.7	126	61.3	66.7	50.2	65.7	t7	3.1	0.98	3.33	1.38	0.88	1.58	gl7	106	82	82	70	94	70	t7	1.98	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99								
8.68	Xbarra	15.9 N8	48 S8_2	121	SC18_	83.9	134	84.6	91.6	73.3	90.8	106	t8	3.69	1.32	3.71	1.6	1.11	1.8	0.12	gl8	130	106	106	94	118	94	70	t8	1.98	1.98	1.98	1.99	1.98	1.99	1.99				
11	Xbarra	22.3 N9	60 S9_2	54.7	SC19_	59.6	100	55.3	58.1	47.8	57.4	60.5	83.9	t9	-0.26	-1.91	0.11	-2.25	-3.87	-2.01	-3.27	-3.64	gl9	142	118	118	106	130	106	82	106	t9	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.99	2.0
		alfa	0.05																																					
WIN																																								
S	Xbarra	2.11 N1	84 S1_2	0.37																																				
0.61	Xbarra	2.36 N2	60 s2_2	0.64	SC12_	0.48		t2	-2.14				gl2	142		t2	1.98																							
0.8	Xbarra	2.67 N3	60 S3_2	2.22	SC13_	1.14	1.43	t3	-3.08	-1.39			gl3	142	118	t3	1.98	1.98																						
1.49	Xbarra	2.52 N4	48 S4_2	0.57	SC14_	0.44	0.61	1.49	t4	-3.43	-1.06	0.6	gl4	130	106	106	t4	1.98	1.98	1.98																				
0.75	Xbarra	2.56 N5	72 S5_2	0.75	SC15_	0.55	0.7	1.42	0.68	t5	-3.81	-1.37	0.49	-0.26	gl5	154	130	130	118	t5	1.98	1.98	1.98	1.98																
0.87	Xbarra	2.59 N6	48 S6_2	2.47	SC16_	1.13	1.45	2.36	1.52	1.44	t6	-2.49	-0.97	0.26	-0.26	-0.12	gl6	130	106	106	94	118	t6	1.98	1.98	1.98	1.99	1.98												
1.57	Xbarra	2.56 N7	24 S7_2	0.48	SC17_	0.39	0.6	1.73	0.54	0.69	1.82	t7	-3.1	-1.06	0.33	-0.2	0.01	0.08	gl7	106	82	82	70	94	70	t7	1.98	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99								
0.7	Xbarra	2.49 N8	48 S8_2	1.04	SC18_	0.61	0.82	1.69	0.8	0.87	1.76	0.86	t8	-2.7	-0.75	0.68	0.16	0.4	0.35	0.29	gl8	130	106	106	94	118	94	70	t8	1.98	1.98	1.98	1.99	1.98	1.99	1.99				
1.02	Xbarra	2.32 N9	60 S9_2	0.42	SC19_	0.39	0.53	1.32	0.49	0.6	1.33	0.44	0.69	t9	-1.94	0.35	1.67	1.54	1.83	1.22	1.53	1.1	gl9	142	118	118	106	130	106	82	106	t9	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.99	2.0
		alfa	0.05																																					
Altitud																																								
S	Xbarra	80.7 N1	7 S1_2	####																																				
137	Xbarra	176 N2	5 s2_2	####	SC12_	####		t2	-0.93				gl2	10		t2	2.23																							
218	Xbarra	71.3 N3	5 S3_2	####	SC13_	####	####	t3	0.12	0.91			gl3	10	8	t3	2.23	2.31																						
134	Xbarra	36.8 N4	4 S4_2	2227	SC14_	####	####	####	t4	0.61	1.24	0.49	gl4	9	7	7	t4	2.26	2.36	2.36																				
47.2	Xbarra	498 N5	6 S5_2	####	SC15_	####	####	####	####	t5	-1.15	-0.73	-0.99	-0.95	gl5	11	9	9	8	t5	2.2	2.26	2.26	2.31																
952	Xbarra	442 N6	4 S6_2	####	SC16_	####	####	####	####	####	t6	-1.27	-0.75	-0.96	-1.06	0.1	gl6	9	7	7	6	8	t6	2.26	2.36	2.36	2.45	2.31												
761	Xbarra	114 N7	2 S7_2	####	SC17_	####	####	####	4682	####	####	t7	-0.31	0.37	-0.39	-1.3	0.54	0.57	gl7	7	5	5	4	6	4	t7	2.36	2.57	2.57	2.78	2.45	2.78								
110	Xbarra	611 N8	4 S8_2	####	SC18_	####	####	####	####	####	####	####	t8	-2.06	-1.36	-1.76	-1.68	-0.2	-0.33	-0.97	gl8	9	7	7	6	8	6	4	t8	2.26	2.36	2.36	2.45	2.31	2.45	2.78				
682	Xbarra	523 N9	5 S9_2	####	SC19_	####	####	####	####	####	####	####	####	t9	-1.03	-0.66	-0.88	-0.84	-0.04	-0.12	-0.48	0.13	gl9	10	8	8	7	9	7	5	7	t9	2.23	2.31	2.31	2.36	2.26	2.36	2.57	2.4
		alfa	0.05																																					
B1																																								
S	Xbarra	0.07 N1	8 S1_2	0																																				
0.03	Xbarra	0.07 N2	6 s2_2	0	SC12_	0		t2	0.03				gl2	12		t2	2.18																							
0.01	Xbarra	0.05 N3	6 S3_2	0	SC13_	0	0	t3	0.71	0.89			gl3	12	10	t3	2.18	2.23																						
0.03	Xbarra	0.06 N4	7 S4_2	0	SC14_	0	0	0	t4	0.25	0.28	-0.48	gl4	13	11	11	t4	2.16	2.2	2.2																				
0.03	Xbarra	0.1 N5	17 S5_2	0.02	SC15_	0.02	0.02	0.02	0.02	t5	-0.61	-0.54	-0.71	-0.64	gl5	23	21	21	22	t5	2.07	2.08	2.08	2.07																
0.15	Xbarra	0.06 N6	7 S6_2	0	SC16_	0	0	0	0	0.02	t6	0.56	1.12	-0.57	0.26	0.7	gl6	13	11	11	12	22	t6	2.16	2.2	2.2	2.18	2.07												
0.01	Xbarra	0.07 N7	7 S7_2	0	SC17_	0	0	0	0	0.02	0	t7	-0.35	-0.68	-1.38	-0.72	0.5	-2.07	gl7	13	11	11	12	22	12	t7	2.16	2.2	2.2	2.18	2.07	2.18								
0.01	Xbarra	0.07 N8	8 S8_2	0.01	SC18_	0	0	0	0	0.02	0	0	t8	-0.04	-0.05	-0.37	-0.16	0.56	-0.27	0.11	gl8	14	12	12	13	23	13	13	t8	2.14	2.18	2.18	2.16	2.07	2.16	2.16				
0.08	Xbarra	0.06 N9	12 S9_2	0	SC19_	0	0	0	0	0.01	0	0	0	t9	0.17	0.15	-0.6	-0.1	0.81	-0.36	0.55	0.15	gl9	18	16	16	17	27	17	17	18	t9	2.1	2.12	2.12	2.11	2.05	2.11	2.11	2.1
		alfa	0.05																																					

Continuación...

B2																				M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	
S	Xbarrε	0.073	N1	8 S1_2	0.001															M1	1								
0.033	Xbarrε	0.072	N2	6 s2_2	5E-05	SC12_	7E-04		t2	0.126		gl2	12						t2	2.179									
0.007	Xbarrε	0.055	N3	6 S3_2	9E-04	SC13_	0.001 5E-04		t3	1.027 1.257		gl3	12	10					t3	2.179 2.228									
0.031	Xbarrε	0.068	N4	7 S4_2	0.002	SC14_	0.001 1E-03 0.001		t4	0.269 0.198 -0.61		gl4	13	11	11				t4	2.16 2.201 2.201									
0.042	Xbarrε	0.099	N5	17 S5_2	0.001	SC15_	0.001 1E-03 0.001 0.001		t5	-1.68 -1.82 -2.64 -1.81		gl5	23	21	21	22			t5	2.069 2.08 2.08 2.074									
0.035	Xbarrε	0.069	N6	7 S6_2	5E-05	SC16_	6E-04 5E-05 3E-04 9E-04 9E-04		t6	0.357 0.709 -1.48 -0.04 2.176		gl6	13	11	11	12	22		t6	2.16 2.201 2.201 2.179 2.074									
0.007	Xbarrε	0.077	N7	7 S7_2	4E-04	SC17_	8E-04 3E-04 7E-04 0.001 0.001 2E-04		t7	-0.24 -0.59 -1.5 -0.49 1.502 -0.99		gl7	13	11	11	12	22	12		t7	2.16 2.201 2.201 2.179 2.074 2.179								
0.021	Xbarrε	0.071	N8	8 S8_2	0.007	SC18_	0.004 0.004 0.005 0.005 0.003 0.004 0.004		t8	0.084 0.027 -0.42 -0.07 1.173 -0.06 0.188		gl8	14	12	12	13	23	13	13		t8	2.145 2.179 2.179 2.16 2.069 2.16 2.16							
0.085	Xbarrε	0.078	N9	12 S9_2	0.003	SC19_	0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.002 0.004	t9	-0.22 -0.3 -0.99 -0.43 1.29 -0.47 -0.05 -0.24	gl9	18 16 16 17 27 17 17 18	t9	2.101 2.12 2.12 2.11 2.052 2.11 2.11 2.1																
	alfa	0.05																											
B3																				M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	
S	Xbarrε	0.08	N1	8 S1_2	0.001															M1	1								
0.037	Xbarrε	0.084	N2	6 s2_2	3E-04	SC12_	9E-04		t2	-0.29		gl2	12						t2	2.179									
0.018	Xbarrε	0.06	N3	6 S3_2	5E-04	SC13_	0.001 4E-04		t3	1.124 2.052		gl3	12	10					t3	2.179 2.228									
0.022	Xbarrε	0.074	N4	7 S4_2	0.002	SC14_	0.002 0.001 0.001		t4	0.271 0.54 -0.69		gl4	13	11	11				t4	2.16 2.201 2.201									
0.044	Xbarrε	0.101	N5	17 S5_2	7E-04	SC15_	9E-04 6E-04 7E-04 0.001		t5	-1.66 -1.41 -3.31 -1.87		gl5	23	21	21	22			t5	2.069 2.08 2.08 2.074									
0.027	Xbarrε	0.089	N6	7 S6_2	3E-04	SC16_	9E-04 3E-04 3E-04 0.001 6E-04		t6	-0.63 -0.51 -2.94 -0.86 1.096		gl6	13	11	11	12	22		t6	2.16 2.201 2.201 2.179 2.074									
0.016	Xbarrε	0.078	N7	7 S7_2	2E-04	SC17_	8E-04 3E-04 3E-04 0.001 6E-04 2E-04		t7	0.123 0.743 -1.74 -0.22 2.161 1.437		gl7	13	11	11	12	22	12		t7	2.16 2.201 2.201 2.179 2.074 2.179								
0.014	Xbarrε	0.075	N8	8 S8_2	0.007	SC18_	0.004 0.004 0.004 0.005 0.003 0.004 0.004	t8	0.144 0.264 -0.4 -0.02 1.173 0.432 0.089	gl8	14 12 12 13 23 13 13	t8	2.145 2.179 2.179 2.16 2.069 2.16 2.16																
0.086	Xbarrε	0.1	N9	12 S9_2	0.002	SC19_	0.002 0.001 0.001 0.002 0.001 0.001 0.001 0.004	t9	-1.13 -0.88 -2.16 -1.3 0.07 -0.67 -1.36 -0.89	gl9	18 16 16 17 27 17 17 18	t9	2.101 2.12 2.12 2.11 2.052 2.11 2.11 2.1																
	alfa	0.05																											
B4																				M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	
S	Xbarrε	0.087	N1	8 S1_2	0.002															M1	1								
0.049	Xbarrε	0.099	N2	6 s2_2	0.001	SC12_	0.002		t2	-0.53		gl2	12						t2	2.179									
0.036	Xbarrε	0.066	N3	6 S3_2	8E-04	SC13_	0.002 0.001		t3	0.93 1.799		gl3	12	10					t3	2.179 2.228									
0.028	Xbarrε	0.073	N4	7 S4_2	0.002	SC14_	0.002 0.002 0.001		t4	0.584 1.201 -0.34		gl4	13	11	11				t4	2.16 2.201 2.201									
0.043	Xbarrε	0.08	N5	17 S5_2	4E-04	SC15_	1E-03 6E-04 5E-04 8E-04		t5	0.48 1.645 -1.39 -0.6		gl5	23	21	21	22			t5	2.069 2.08 2.08 2.074									
0.02	Xbarrε	0.089	N6	7 S6_2	5E-04	SC16_	0.002 9E-04 6E-04 0.001 4E-04		t6	-0.13 0.605 -1.76 -0.91 -1		gl6	13	11	11	12	22		t6	2.16 2.201 2.201 2.179 2.074									
0.023	Xbarrε	0.072	N7	7 S7_2	6E-04	SC17_	0.002 9E-04 7E-04 0.001 4E-04 6E-04		t7	0.703 1.605 -0.44 0.026 0.84 1.35		gl7	13	11	11	12	22	12		t7	2.16 2.201 2.201 2.179 2.074 2.179								
0.025	Xbarrε	0.075	N8	8 S8_2	0.009	SC18_	0.005 0.006 0.005 0.005 0.003 0.005 0.005	t8	0.325 0.612 -0.23 -0.05 0.241 0.408 -0.07	gl8	14 12 12 13 23 13 13	t8	2.145 2.179 2.179 2.16 2.069 2.16 2.16																
0.093	Xbarrε	0.104	N9	12 S9_2	0.002	SC19_	0.002 0.002 0.002 0.002 0.001 0.001 0.001 0.005	t9	-0.81 -0.22 -1.9 -1.49 -1.95 -0.79 -1.72 -0.95	gl9	18 16 16 17 27 17 17 18	t9	2.101 2.12 2.12 2.11 2.052 2.11 2.11 2.1																
	alfa	0.05																											
B5																				M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	
S	Xbarrε	0.074	N1	8 S1_2	0.003															M1	1								
0.054	Xbarrε	0.08	N2	6 s2_2	0.003	SC12_	0.003		t2	-0.21		gl2	12						t2	2.179									
0.055	Xbarrε	0.049	N3	6 S3_2	5E-04	SC13_	0.002 0.002		t3	1.08 1.287		gl3	12	10					t3	2.179 2.228									
0.023	Xbarrε	0.056	N4	7 S4_2	0.001	SC14_	0.002 0.002 9E-04		t4	0.778 0.976 -0.42		gl4	13	11	11				t4	2.16 2.201 2.201									
0.034	Xbarrε	0.047	N5	17 S5_2	9E-04	SC15_	0.001 0.001 8E-04 1E-03		t5	1.647 1.873 0.146 0.638		gl5	23	21	21	22			t5	2.069 2.08 2.08 2.074									
0.03	Xbarrε	0.063	N6	7 S6_2	4E-04	SC16_	0.002 0.002 5E-04 8E-04 8E-04		t6	0.497 0.749 -1.23 -0.5 -1.33		gl6	13	11	11	12	22		t6	2.16 2.201 2.201 2.179 2.074									
0.021	Xbarrε	0.06	N7																										

ANEXO XVIII. MEDIA ARITMÉTICA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE VA Y REFLECTANCIA POR MODELO REGIONAL

Media aritmética de VA y reflectancia por modelo regional									
	MR1	MR2	MR3	MR4	MR5	MR6	MR7	MR8	MR9
	X_barra	X_barra	X_barra	X_barra	X_barra	X_barra	X_barra	X_barra	X_barra
TASA	26.96	25.77	25.75	21.66	20.37	23.27	21.45	17.89	30.09
VAPA	2.19	2.03	2.10	1.90	1.57	1.66	1.59	1.42	1.98
RadSol	16186	15882	16564	15401	16956	16232	13397	16214	17703
1Prec	133.20	133.43	118.89	127.54	101.36	118.47	103.03	86.90	107.20
Tmín	17.83	14.86	18.01	15.13	13.02	14.87	12.56	11.01	17.20
Tmáx	26.15	22.83	26.95	22.86	22.27	23.88	19.80	20.74	27.45
Tprom	21.99	18.84	22.48	19.00	17.65	19.37	16.18	15.88	22.33
Wind	2.11	2.36	2.67	2.52	2.56	2.59	2.56	2.49	2.32
Altitud	80.72	175.97	71.32	36.77	497.85	441.57	114.03	610.75	522.70
B1	0.07	0.06	0.05	0.07	0.08	0.06	0.07	0.09	0.07
B2	0.08	0.07	0.05	0.07	0.08	0.07	0.08	0.09	0.08
B3	0.08	0.08	0.06	0.07	0.09	0.08	0.08	0.10	0.10
B4	0.09	0.10	0.06	0.07	0.07	0.08	0.07	0.11	0.10
B5	0.08	0.08	0.04	0.06	0.06	0.06	0.06	0.13	0.08
B6	0.06	0.04	0.02	0.04	0.04	0.03	0.04	0.06	0.04
B7	0.04	0.03	0.02	0.04	0.02	0.03	0.03	0.05	0.03
TSS	108.58	90.86	17.10	308.42	399.87	2.37	106.49	33.92	65.32

Simbología: Temperatura mínima (Tmín), temperatura promedio (TProm), temperatura máxima (Tmáx), Temperatura de superficie del cuerpo de agua (TASA), dirección del viento (Vientos), precipitación (Prec) y banda multiespectral n(Bn)

Desviaciones estandar de VA y reflectancia por modelo regional									
	MR1	MR2	MR3	MR4	MR5	MR6	MR7	MR8	MR9
	DesvStand	DesvStand	DesvStand	DesvStand	DesvStand	DesvStand	DesvStand	DesvStand	DesvStand
TASA	3.53	7.52	6.30	3.06	3.98	6.37	6.27	14.43	5.72
VAPA	0.69	0.88	1.03	0.72	0.26	0.66	0.88	0.91	0.79
RadSol	1887.88	1862.73	2073.23	1950.64	1511.91	2061.51	4053.50	3079.83	2539.88
1Prec	38.50	79.79	51.72	30.54	60.46	50.34	54.83	48.24	73.04
Tmín	5.87	11.13	7.04	5.85	2.30	6.84	9.54	10.42	7.87
Tmáx	6.37	9.96	6.38	5.84	3.06	6.61	8.72	10.75	6.13
Tprom	6.08	10.54	6.70	5.83	2.47	6.61	9.13	10.41	6.70
Wind	0.55	0.80	1.60	0.81	0.90	1.75	0.88	1.05	0.56
Altitud	136.91	218.14	134.10	47.19	951.51	760.57	109.76	682.46	1145.63
B1	0.03	0.01	0.03	0.03	0.05	0.01	0.00	0.12	0.03
B2	0.03	0.01	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01	0.12	0.05
B3	0.04	0.02	0.02	0.04	0.03	0.01	0.01	0.12	0.05
B4	0.05	0.04	0.03	0.04	0.02	0.02	0.00	0.13	0.04
B5	0.05	0.06	0.02	0.02	0.05	0.03	0.01	0.16	0.04
B6	0.05	0.02	0.00	0.02	0.03	0.01	0.00	0.07	0.02
B7	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00	0.06	0.02
TSS	104.89	101.61	14.13	166.14	157.02	1.50	97.61	34.58	71.20

Simbología: Temperatura mínima (Tmín), temperatura promedio (TProm), temperatura máxima (Tmáx), Temperatura de superficie del cuerpo de agua (TASA), dirección del viento (Vientos), precipitación (Prec) y banda multiespectral n(Bn)

ANEXO XIX. MUESTREOS DE CUERPOS DE AGUAS PARA VALIDACIÓN

Cuerpo de agua 152 Indonesia Lake.

Sampling point	X	Y	B2	B3	B4	B5	TSS (mg/L)
1	---	---	0.011	0.042	0.035	0.095	11.75
2	---	---	0.016	0.047	0.026	0.02	4.5
3	---	---	0.059	0.057	0.057	0.057	6.13
4	---	---	0.004	0.012	0.012	0.008	22.88
5	---	---	0.01	0.05	0.027	0.015	6.33
6	---	---	0	0.004	0.024	0.004	27.2

Cuerpo de agua 55 Boloshiganda Cuvelai-Etosha Basin

Stations	Longitude	latitude	B1 0.43-0.45	B2 0.45-0.52	B3 0.53-0.59	B4 0.64-0.67	B5 0.76-0.90	B6 1.57-0.90	B7 2.11-2.29	In-situ TSS (gm-3) 450
S1	42.823795	36.637655	0.071	0.077	0.136	0.116	0.058	0.045	0.039	380
S2	42.858127	36.634625	0.079	0.073	0.115	0.135	0.078	0.077	0.05	510
S3	42.892545	36.630079	0.067	0.071	0.129	0.139	0.08	0.033	0.066	430
S4	42.9334	36.626497	0.066	0.073	0.11	0.111	0.082	0.073	0.051	440
S5	42.94267	36.653219	0.073	0.08	0.124	0.103	0.086	0.033	0.056	450
S6	42.900098	36.670294	0.073	0.07	0.123	0.136	0.07	0.048	0.061	370
S7	42.884992	36.692596	0.069	0.078	0.123	0.124	0.061	0.042	0.07	320
S8	42.888082	36.714892	0.08	0.08	0.111	0.131	0.073	0.078	0.049	300
S9	42.843793	36.707736	0.075	0.073	0.113	0.116	0.105	0.068	0.043	370
S10	42.802594	36.720396	0.081	0.08	0.13	0.125	0.059	0.072	0.038	380
S11	42.785085	36.741583	0.067	0.079	0.118	0.115	0.083	0.049	0.063	320
S12	42.753843	36.7259	0.07	0.07	0.132	0.135	0.079	0.047	0.065	360
S13	42.737707	36.752862	0.078	0.08	0.127	0.122	0.104	0.077	0.041	320
S14	42.720369	36.764139	0.078	0.081	0.127	0.116	0.107	0.075	0.048	350
S15	42.705607	36.784077	0.068	0.085	0.132	0.127	0.093	0.058	0.073	330
S16	42.687238	36.807308	0.077	0.083	0.119	0.125	0.07	0.035	0.055	320
S17	42.659343	36.801673	0.072	0.081	0.135	0.13	0.056	0.046	0.062	320
S18	42.649816	36.783527	0.074	0.081	0.123	0.134	0.093	0.037	0.037	310
S19	42.594884	36.799749	0.067	0.77	0.133	0.107	0.101	0.048	0.036	350
S20	42.564071	36.822187	0.083	0.078	0.132	0.122	0.093	0.035	0.071	240
S21	42.514032	36.838881	0.077	0.074	0.12	0.106	0.094	0.034	0.053	430
S22	42.823795	36.637655	0.07	0.076	0.112	0.136	0.068	0.057	0.041	350

Cuerpo de agua 2 Hirfarli, Dam [$ID = 2$],

Stations	Longitude	Latitude	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	JTSS
S1	42.8238	36.63766	0.071	0.077	0.136	0.116	0.058	0.045	0.039	22.166
S2	42.85813	36.63463	0.079	0.073	0.115	0.135	0.078	0.077	0.05	21.15
S3	42.89255	36.63008	0.067	0.071	0.129	0.139	0.08	0.033	0.066	23.606
S4	42.9334	36.6265	0.066	0.073	0.11	0.111	0.082	0.073	0.051	22.466
S5	42.94267	36.65322	0.073	0.08	0.124	0.103	0.086	0.033	0.056	21.453
S6	42.9001	36.67029	0.073	0.07	0.123	0.136	0.07	0.048	0.061	20.03
S7	42.88499	36.6926	0.069	0.078	0.123	0.124	0.061	0.042	0.07	11.293
S8	42.88808	36.71489	0.08	0.008	0.111	0.131	0.073	0.078	0.049	10.263
S9	42.84379	36.70774	0.075	0.073	0.113	0.116	0.105	0.068	0.043	13.836
S10	42.80259	36.7204	0.081	0.08	0.13	0.125	0.059	0.072	0.038	7.259
S11	42.78509	36.74158	0.067	0.079	0.118	0.115	0.083	0.049	0.063	36.443
S12	42.75384	36.7259	0.07	0.07	0.132	0.135	0.079	0.047	0.065	32.483
S13	42.73771	36.75286	0.078	0.08	0.127	0.122	0.104	0.077	0.041	12.823
S14	42.72037	36.76414	0.078	0.081	0.127	0.116	0.107	0.075	0.048	30.823
S15	42.70561	36.78408	0.068	0.085	0.132	0.127	0.093	0.058	0.073	22.986
S16	42.68724	36.80731	0.077	0.083	0.119	0.125	0.07	0.035	0.055	12.11
S17	42.65934	36.80167	0.072	0.081	0.135	0.13	0.056	0.046	0.062	19.436
S18	42.64982	36.78353	0.074	0.081	0.123	0.134	0.093	0.037	0.037	27.51
S19	42.59488	36.79975	0.067	0.077	0.133	0.107	0.101	0.048	0.036	29.71
S20	42.56407	36.82219	0.083	0.078	0.132	0.122	0.093	0.035	0.071	9.7933
S21	42.51403	36.83888	0.077	0.074	0.12	0.106	0.094	0.034	0.053	20.416
S22	42.8238	36.63766	0.07	0.076	0.112	0.136	0.068	0.057	0.041	13.46

Cuerpo de agua 25 Chebara Dam [$ID = 25$],

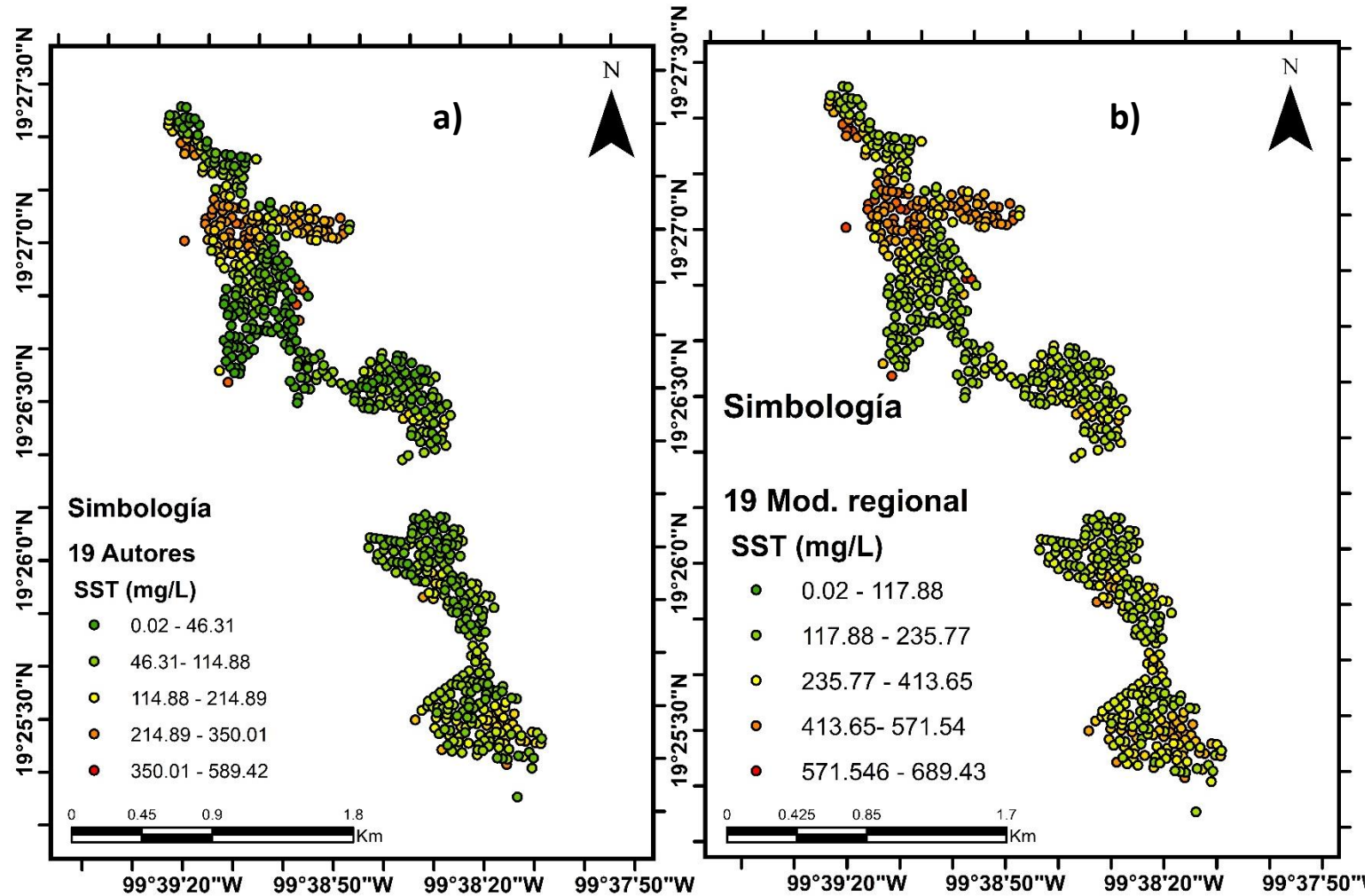
Date	Chi-a (mg/m3)	TSS (g/m3)	tabla 1 CDOM (mg/m3)		table 2 Chl-a (mg/m3)	TSS (g/m3)	CDOM (mg/m3)
14-Nov-15	0.17546	15.9375	0.126959		0.191911	15.9074	0.131979
2-Feb-16	0.260839	12.3292	0.082466		0.177577	12.9258	0.087681
3-Mar-16	0.849682	14.171	0.106585		0.73697	12.0919	0.073813
30-aug-16	0.544841	9.394	0.027488		1.45922	9.87501	0.036643
29-Oct-16	0.288234	12.3203	0.08257		0.248026	13.3807	0.097131
8-Dec-16	0.612032	10.0125	0.067023		0.310219	10.232	0.049837
16-Feb-17	0.7959	17.6777	0.17021		305802	12.9053	0.049837
17-Apr-17	0.817335	8.6933	0.010379		135291	10.8564	0.057182

Cuerpo de agua 54 Whangape Dam [ID=54]

date	site ID	lake name	station name	In situ TSS (mg L-1)
10/26/2012	330_14	Lake Whangape	Centre (Surface)	126
8/28/2002	330_14	Lake Whangape	Centre (Surface)	47
8/28/2002	324_11	Lake Waahi	Weavers Basin (Surface)	15
10/26/2012	326_4	Lake Waikare	Epilimnion	108
3/14/2011	326_2	Lake Waikare	Centre-Surface	19
5/30/2013	317_4	Lake Rotomanuka	Lake Centre (Surface)	5
5/30/2013	301_8	Lake Maratoto	Centre (Surface)	2
8/28/2002	324_2	Lake Waahi	Centre (Surface)	17
8/28/2002	326_4	Lake Waikare	Epilimnion	219
3/14/2011	324_2	Lake Waahi	Centre (Surface)	75
3/14/2011	292_6	Lake Hakanoa	Centre (Surface)	16
4/23/2014	330_14	Lake Whangape	Centre (Surface)	74
10/29/2007	292_6	Lake Hakanoa	Centre(Surface)	25
5/30/2013	145_3	Lake Serpentine	North (Surface)	2
5/28/2015	317_4	Lake Rotomanuka	Lake Centre (Surface)	5
5/28/2015	301_8	Lake Maratoto	Centre(Surface)	3
3/6/2014	290_2	Lake Areare	Centre-Surface	6
4/23/2014	292_6	Lake Hakanoa	Centre (Surface)	20
8/28/2008	1456_3	Lake Serpentine	North (Surface)	4.4
4/23/2014	326_4	Lake Waikare	Epilimnion	118
5/28/2015	1456_3	Lake Serpentine	North (Surface)	4
4/23/2014	2069_1	Lake Puketirini (Lak	Centre (Surface)	2
4/23/2014	324_2	Lake Waahi	Centre (Surface)	240
3/6/2014	299_1	Lake Mangakaware	Lake Centre	12

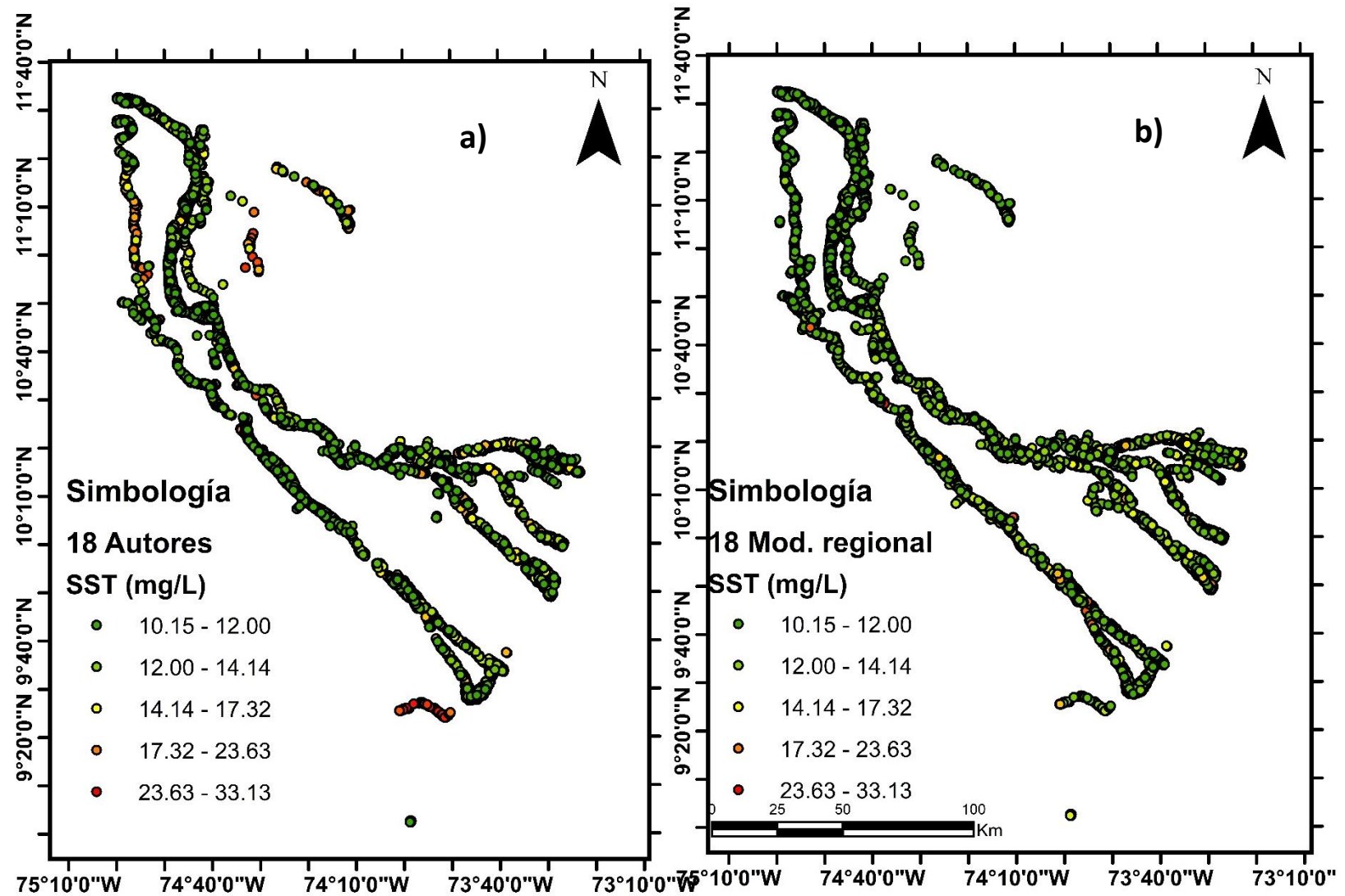
Anexo XX. Interpolación de resultados con cuerpos de agua de otras zonas de estudio

XX.1 Prueba con el CA 19



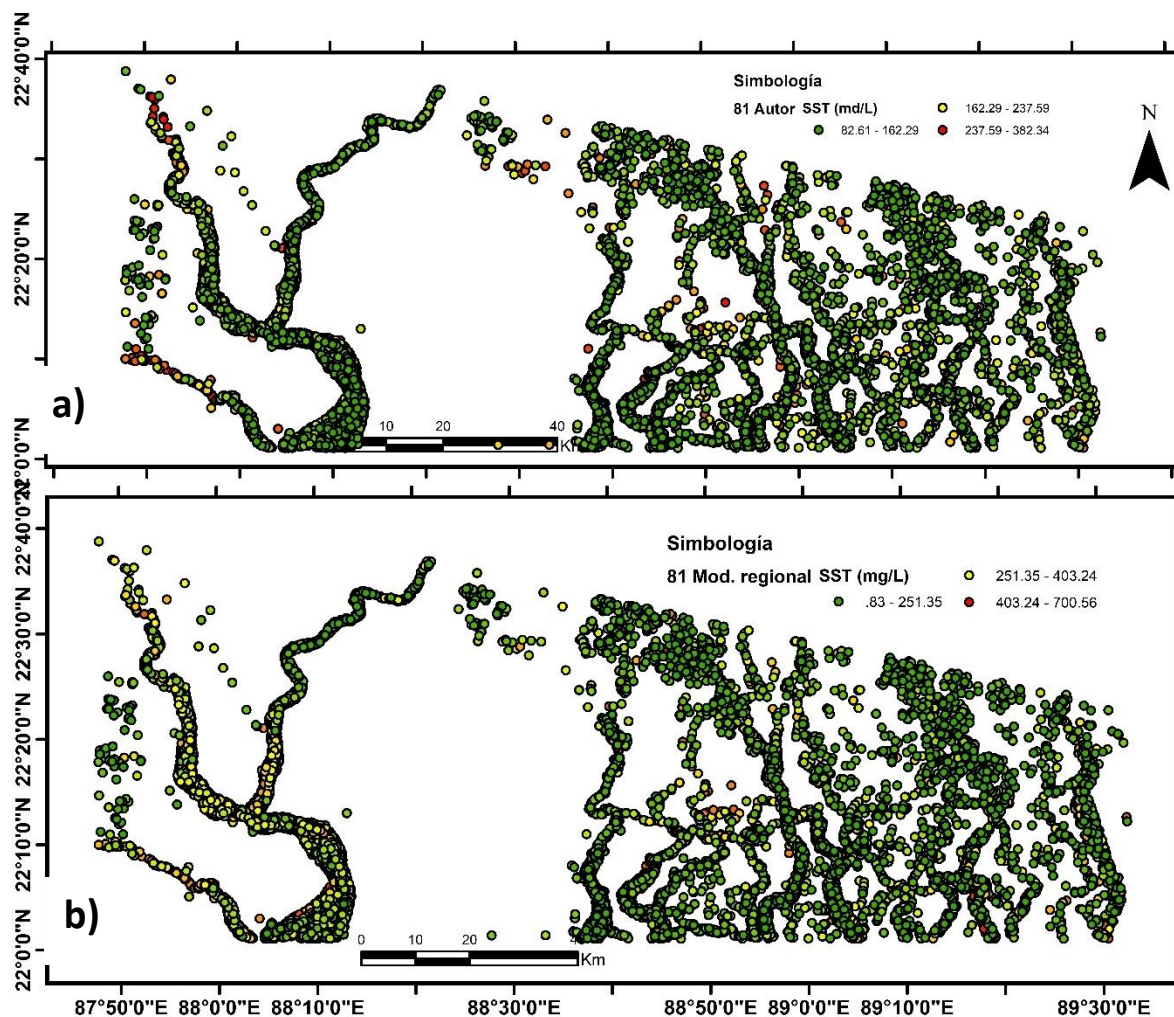
Simbología: Sólidos suspendidos totales (SST), a) interpolación con modelo del autor b), interpolación con el modelo propio (polinómico). Nota: Los pixeles con $NDWI \leq 0.15$ fueron descartados debido a que el modelo propio estima con valores extremos de SST.

XX.2 Prueba con CA 18



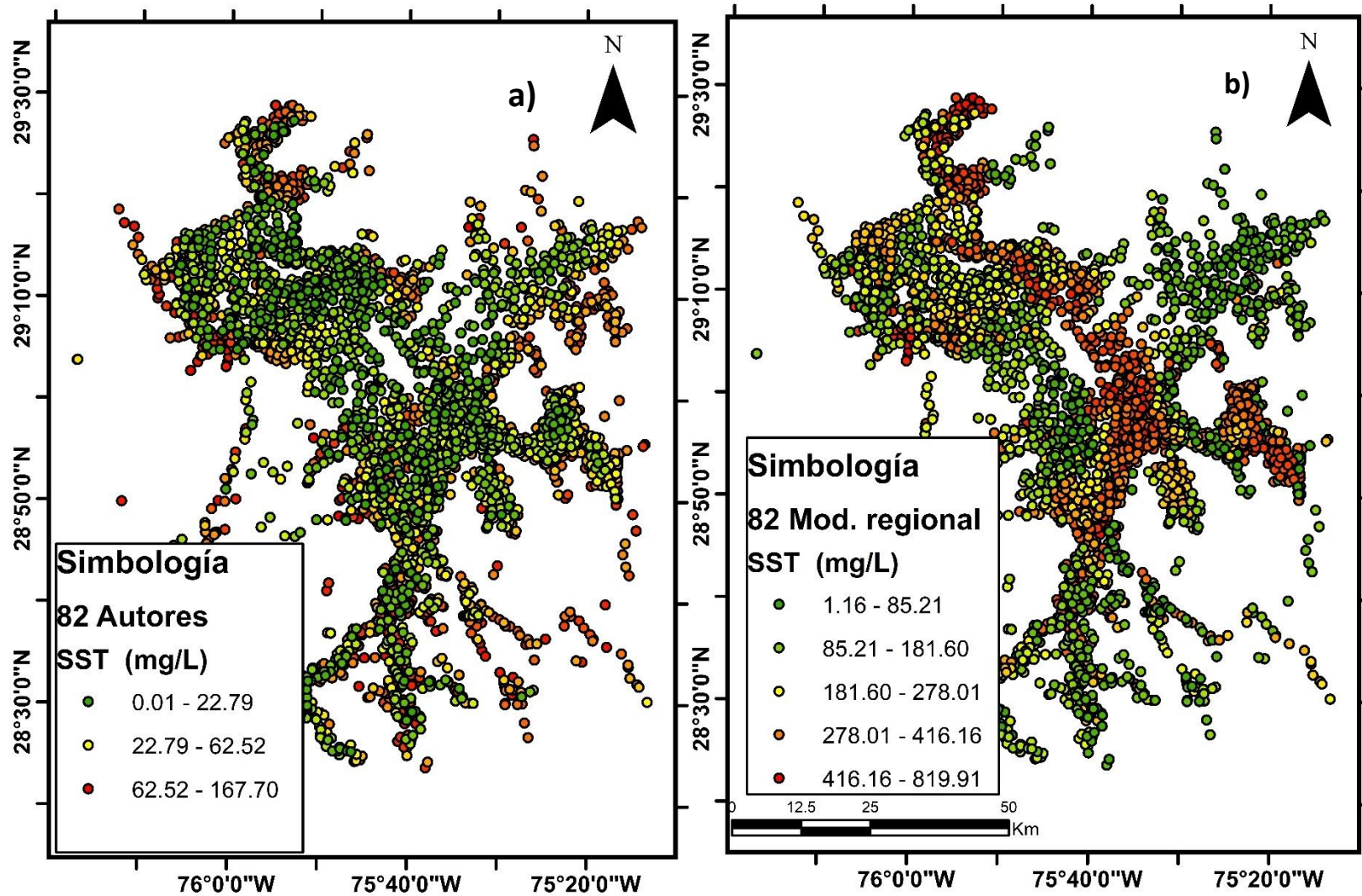
Simbología: Sólidos suspendidos totales (SST), a) interpolación con modelo del autor b), interpolación con el modelo propio (polinómico). Nota: Los pixeles con $NDWI \leq 0.15$ fueron descartados debido a que el modelo propio estima con valores extremos de SST

XX.3 Prueba con el CA 81



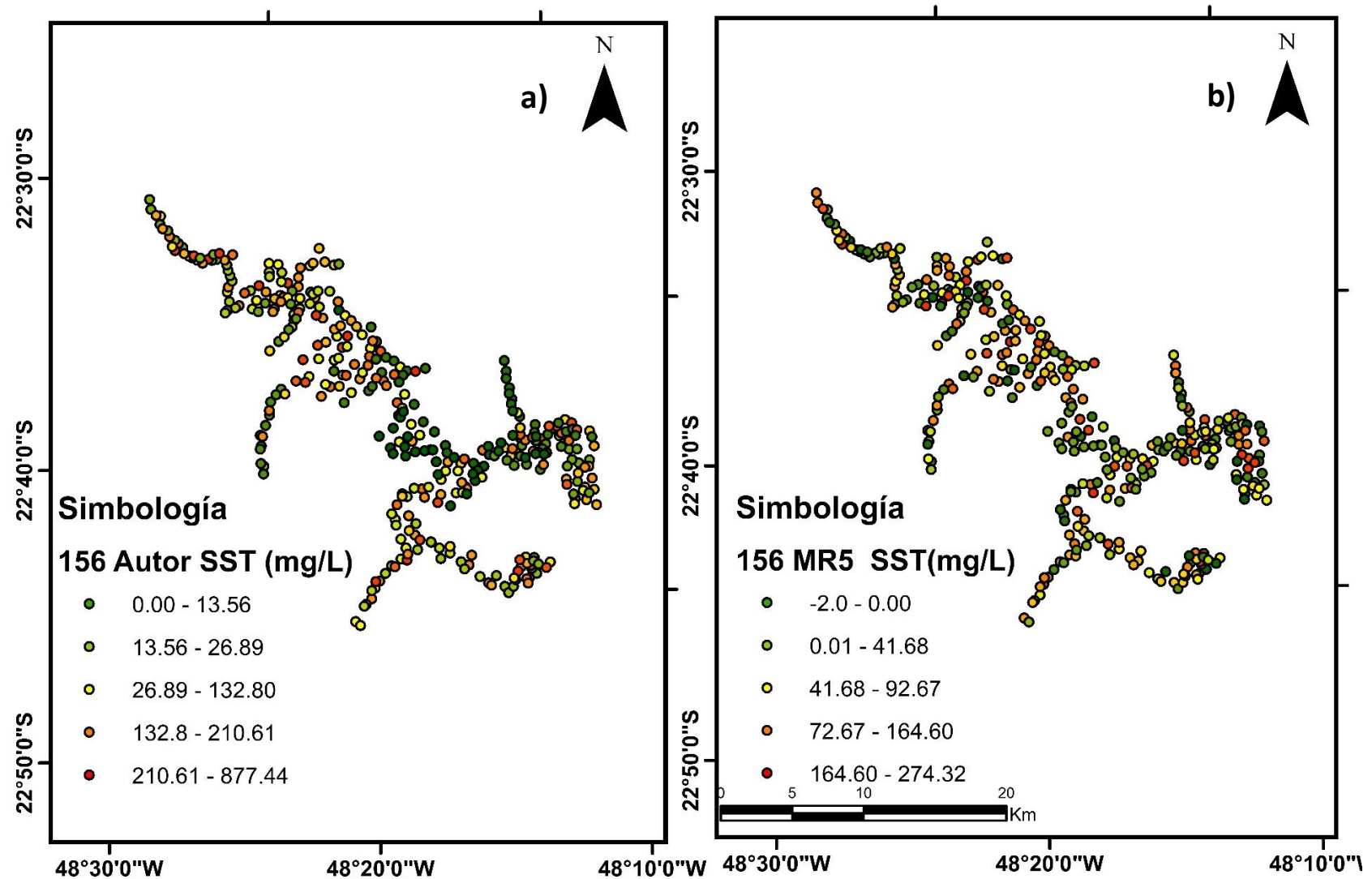
Simbología: Sólidos suspendidos totales (SST), a) interpolación con modelo del autor b), interpolación con el modelo propio (polinómico). Nota: Los pixeles con $NDWI \leq 0.15$ fueron descartados debido a que el modelo propio estima con valores extremos de SST.

XX.4 Prueba con CA 82



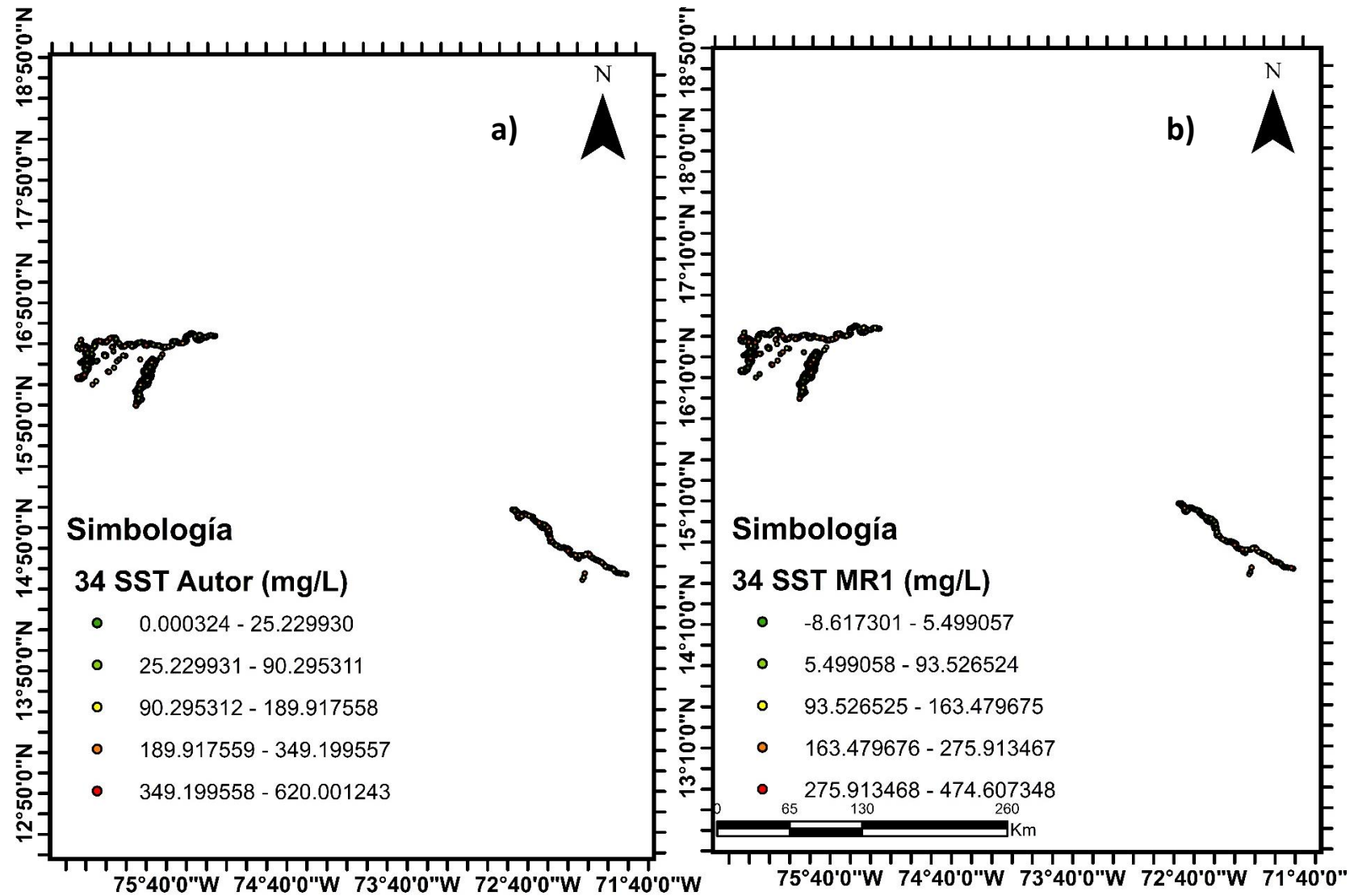
Simbología: Sólidos suspendidos totales (SST), a) interpolación con modelo del autor b), interpolación con el modelo propio (polinómico). Nota: Los pixeles con $NDWI \leq 0.15$ fueron descartados debido a que el modelo propio estima con valores extremos de SST.

XX.5 Prueba con CA 156



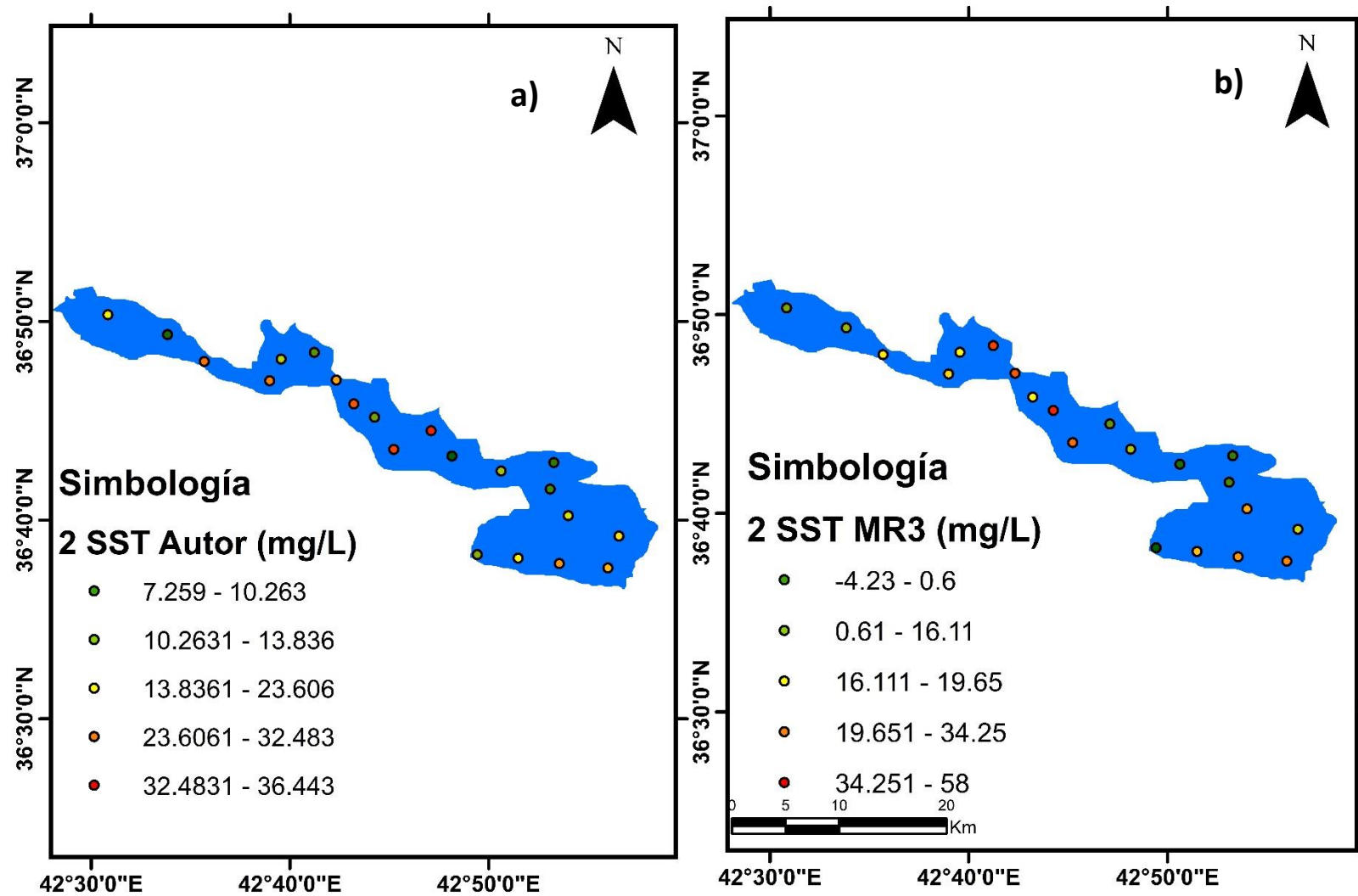
Simbología: Sólidos suspendidos totales (SST), a) interpolación con modelo del autor b), interpolación con el modelo propio (polinómico). Nota: Los pixeles con $NDWI \leq 0.15$ fueron descartados debido a que el modelo propio estima con valores extremos de SST.

XX.6 Prueba con CA 34



Simbología: Sólidos suspendidos totales (SST), a) interpolación con modelo del autor b), interpolación con el modelo propio (polinómico). Nota: Los pixeles con $NDWI \leq 0.15$ fueron descartados debido a que el modelo propio estima con valores extremos de SST.

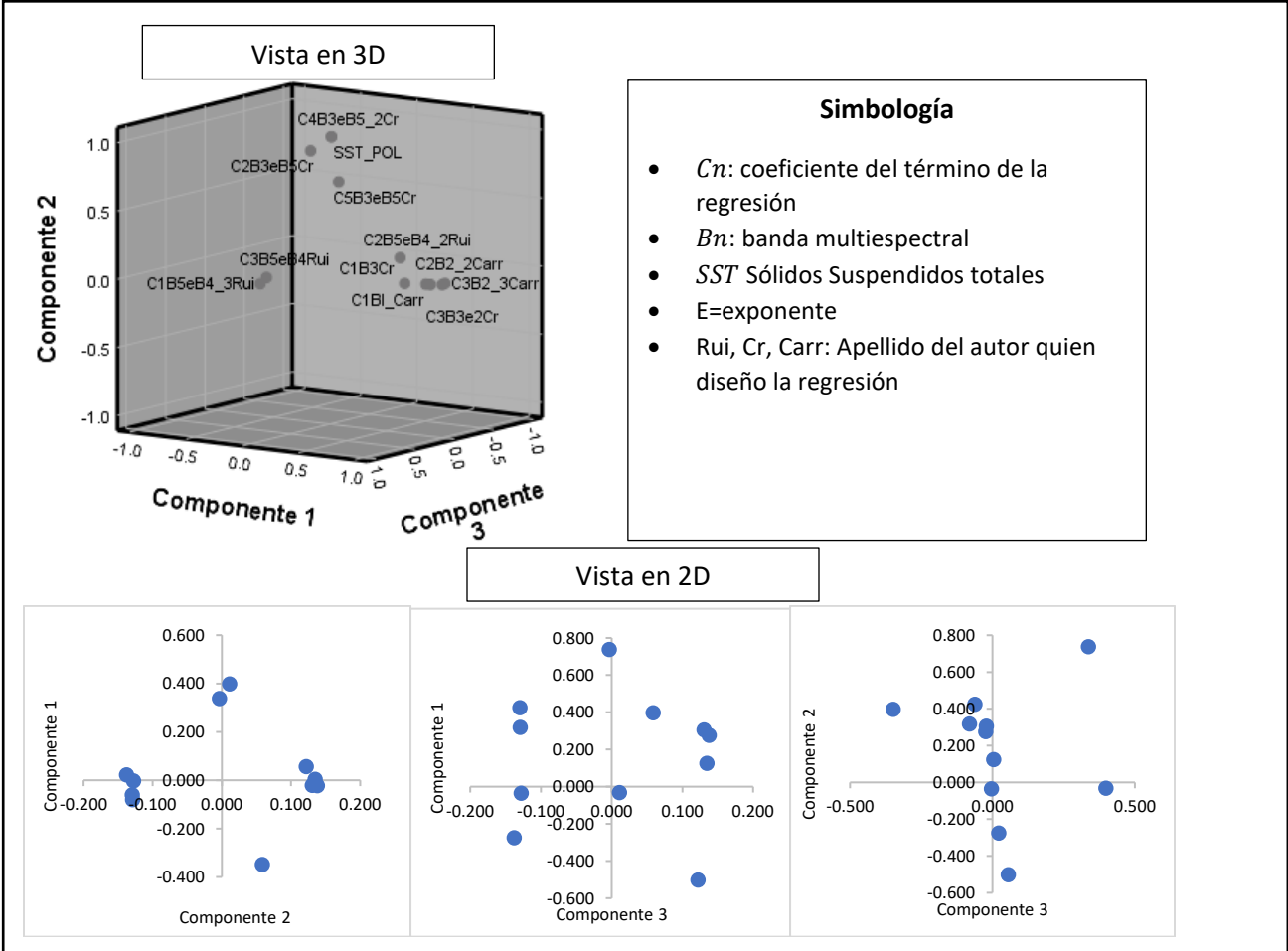
XX.6 Prueba con CA 2



Simbología: Sólidos suspendidos totales (SST), a) interpolación con modelo del autor b), interpolación con el modelo propio (polinómico). Nota: Los pixeles con $NDWI \leq 0.15$ fueron descartados debido a que el modelo propio estima con valores extremos de SST.

ANEXO XXI. OTRAS METODOLOGIAS RECOMENDABLES PARA ANALISIS FUTUROS

A.XXI.1. Análisis Componentes Principales



Evaluación de componentes principales:

Tabla 17.1. Estadísticos de prueba para la comprensión de los datos.

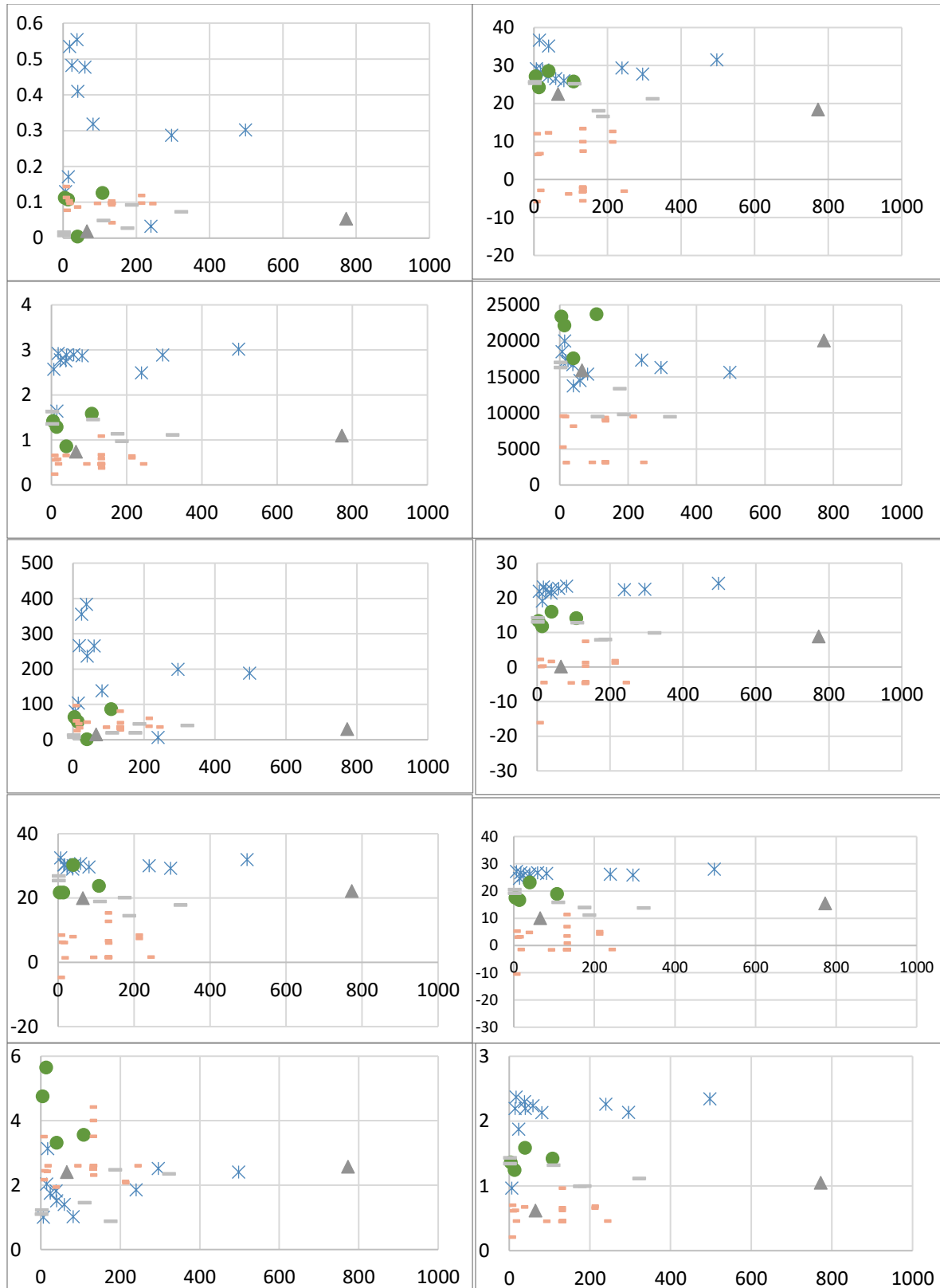
Variable	Fórmula	Autor
Composición	$[A][V] = \lambda[V]$ Donde: A, se refiere a la matriz de valores de los términos presentes en las regresiones de los cuerpos de agua, V: se refiere al vector propio que representa la dirección de la transformación lineal, y λ : valor propio de V.	
Varianza explicada	$PC1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = \sum_{j=1}^n a_{1j}x_j, \quad (13)$ $PC1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = \sum_{j=1}^n a_{1j}x_j, \quad (14)$ combinación de las variables y las reestructura en un set de datos que describen la mayor varianza posible de los datos	Xue et al., 2011

	Donde: $x_1, x_2, \dots, x_n$ son las variables originales (términos de regresiones) y a_{jj} son el vector propio (eigenvector). El vector propio es la varianza explicada de los componentes principales. Las covarianzas o matriz correlacionadas del set de datos son usado para derivar los coeficientes a_{jj} , el cual son los vectores propios (Rahman & Rahman, 2020).	
Niveles de significación (p-value) Coeficientes Matriz de covarianzas Matriz de correlaciones Gráficos de sedimentación Mostrar las puntuaciones de las correlaciones Pruebas de KMO Esfericidad de Bartlett ²⁰	$p - value = \Pr \{ t_{n-1} > t_c \}$ $\begin{pmatrix} y_{1i} \\ \vdots \\ y_{ni} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{1i} & \dots & X_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{ni} & \dots & X_{np} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_{2j} \\ \vdots \\ v_{2j} \end{pmatrix}$ Gráfica de las componentes encontradas debido al porcentaje explicado correlación, r_{jh}, observados entre las variables X_j y X_h, y a_{jh} son los coeficientes de correlación parcial entre las variables X_j y X_h. Cuanto más cerca de 1 tenga el valor obtenido de la prueba KMO, implica que la relación entre las variables es alta. Evalúa la aplicabilidad del análisis factorial de las variables estudiadas. El modelo es significativo (aceptamos la hipótesis nula, H_0) cuando se puede aplicar el análisis factorial	Alonso, 2017 Yang et al., 2020 Yang et al., 2020 Yang et al., 2020

Simbología: varianza máxima (VARIMAX), prueba de Keiser-Meyer-Olkin (KMO),

²⁰ La Prueba de esfericidad de Barlett se basa en la prueba de hipótesis utilizando el estadístico Chi-cuadrado (χ^2) para la homogeneidad de los datos, en relación con los valores observado y esperados (anexo 2).

ANEXO XXII. Relación de latitud con TSS



ANEXO XXIII. CARACTERIZACION LATIDUNAL

Central $\pm 10^\circ$	latitudes medias (10° - 23° LN, LS)	($>23^\circ$ LN, LS).
Tropical Temperatura Precipitación Temp media mensual del mes más frio mayor a 18° C. f. Ausencia de estación más seca w. la estación seca es en el invierno m. clima monzónico: durante el mes más seco	Presenta monzones, relieves diversos, climas de alta montañas.	Templados Temp media del mes más frio esta entre -3°C y 18°C . f, w, s, a, b, c, d. es que la T media del mes más frio está entre -3°C y 18°C . w- en el mes más seco, que es en invierno, se cumple: - RR media mensual es menor a 1/10 del RR media mensual del mes más lluvioso.

Simbología: f. Ausencia de estación más seca. w. la estación seca es en el invierno, m. clima monzónico: durante el mes más seco, a. temperatura media del mes más cálido superior a los 22°C , d. el mes más frio está por debajo de los 38°C .

ANEXO XXIII. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL A NIVEL MENSUAL

Clúster	ID_IN D	B1Mea n1	B1Mea n2	B1Mea n3	B1Mea n4	B1Mea n5	B1Mea n6	B1Mea n7	B1Mea n8	B1Mea n9	B1Mean 10	B1Mean 11	B1Mean 12	ID_IN D	B2Mea n1	B2Mea n2	B2Mea n3	B2Mea n4	B2Mea n5	B2Mea n6	B2Mea n7	B2Mea n8	B2Mea n9	B2Mean 10	B2Mean 11	B2Mean 12
1	4	0.04												4	0.04											
1	26				0.04									26				0.09								
1	89				0.12									89				0.12								
1	80		0.08			0.03								80		0.08			0.03							
1	50					0.11								50					0.11							
1	84								0.06					84								0.05				
1	77								0.06					77								0.06				
2	52	0.06												52	0.06											
2	88								0.07					88								0.07				
2	90									0.08				90									0.07			
2	24									0.05				24									0.08			
2	9								0.06				0.08	9								0.07			0.08	
3	33	0.07												33	0.08											
3	15	0.1												15	0.04											
3	30	0.06			0.05									30	0.1			0.06								
3	35							0.03						35							0.03					
3	86								0.03					86								0.03				
4	54	0.11						0.06	0.07					54	0.06							0.07	0.09			
4	92									0.04				92									0.04			
4	91				0.02						0.08			91				0.02						0.15		
4	32	0.04												32	0.05											
5	31	0.09												31	0.09											
5	76											0.05		76										0.06		
5	74											0.04		74										0.06		
5	93	0.69	0.1	0.06	0.07		0.09						0.05	93	0.16	0.13	0.09	0.08		0.13					0.13	
5	87	0.05	0.08	0.06	0.06		0.08					0.04	0.05	87	0.14	0.13	0.1	0.07		0.11			0.05	0.12		
5	25	0.03												25	0.04											
6	3	0.05												3	0.06											
6	21	0.06	0.06	0.07	0.05									21	0.07	0.07	0.08	0.08								
6	85										0.07			85									0.07			
6	13												0.06	13											0.06	
7	10	0.05	0.08											10	0.06	0.08										
7	78			0.07		0.09	0.07	0.07		0.06				78			0.09		0.1	0.04	0.09		0.07			
8	55				0.02									55				0.02								
8	28				0.26									28				0.28								
8	51						0.03							51						0.02						
8	75					0.04	0.04			0.06	0.03	0.06		75					0.04	0.04		0.06	0.04	0.07		
9	19	0.05	0.06											19	0.05	0.06										
9	81				0.04									81				0.05								
9	34	0.04	0.03	0.05	0.05	0.03								34	0.04	0.04	0.06	0.05	0.04							
9	82						0.12	0.06						82						0.12	0.06					
9	18							0.1	0.12					18							0.17	0.18				

Continuidad...

Clúster	ID_IN D	B3Mea n1	B3Mea n2	B3Mea n3	B3Mea n4	B3Mea n5	B3Mea n6	B3Mea n7	B3Mea n8	B3Mea n9	B3Mean 10	B3Mean 11	B3Mean 12	ID_IN D	B4Mea n1	B4Mea n2	B4Mea n3	B4Mea n4	B4Mea n5	B4Mea n6	B4Mea n7	B4Mea n8	B4Mea n9	B4Mean 10	B4Mean 11	B4Mean 12
1	4	0.04												4	0.04											
1	26				0.07									26				0.11								
1	89				0.13									89				0.14								
1	80		0.08			0.04								80		0.08			0.03							
1	50					0.14								50					0.16							
1	84								0.05					84								0.04				
1	77								0.08					77								0.08				
2	52	0.08												52	0.09											
2	88								0.06					88								0.05				
2	90									0.09				90									0.07			
2	24									0.07				24									0.15			
2	9								0.11				0.1	9								0.14				0.1
3	33	0.08												33	0.1											
3	15	0.04												15	0.05											
3	30	0.08			0.08									30	0.09			0.08								
3	35							0.04						35							0.02					
3	86								0.04					86								0.06				
4	54	0.05												54	0.09											
4	92							0.08	0.12					92							0.08	0.13				
4	91				0.02				0.04					91				0.02					0.03			
4	32	0.06									0.15			32	0.05									0.12		
5	31	0.1												31	0.09											
5	76											0.08		76										0.06		
5	74											0.08		74										0.07		
5	93	0.15	0.11	0.09	0.09		0.12						0.12	93	0.11	0.07	0.07	0.07		0.09					0.08	
5	87	0.13	0.13	0.11	0.1		0.1						0.07	87	0.1	0.09	0.1	0.09		0.08				0.07	0.09	
5	25	0.03												25	0.03											
6	3	0.09												3	0.07											
6	21	0.09	0.09	0.11	0.11									21	0.08	0.08	0.13	0.11								
6	85										0.07			85									0.08			
6	13												0.08	13											0.08	
7	10	0.08	0.1											10	0.06	0.09										
7	78			0.08		0.07	0.06	0.08		0.08				78			0.11		0.06	0.04	0.05		0.08			
8	55				0.04									55				0.04								
8	28				0.28									28				0.3								
8	51						0.02							51						0.07						
8	75					0.04	0.04			0.06	0.05	0.06		75					0.02	0.02			0.04	0.04	0.06	
9	19	0.08	0.08											19	0.08	0.08										
9	81				0.06									81				0.07								
9	34	0.07	0.08	0.11	0.08	0.08								34	0.08	0.08	0.14	0.08	0.08							
9	82						0.13	0.08						82						0.12	0.06					
9	18							0.17	0.19					18							0.16	0.2				

Continuidad...

Clúster	ID_IN D	B5Mea n1	B5Mea n2	B5Mea n3	B5Mea n4	B5Mea n5	B5Mea n6	B5Mea n7	B5Mea n8	B5Mea n9	B5Mean 10	B5Mean 11	B5Mean 12	ID_IN D	B6Mea n1	B6Mea n2	B6Mea n3	B6Mea n4	B6Mea n5	B6Mea n6	B6Mea n7	B6Mea n8	B6Mea n9	B6Mean 10	B6Mean 11	B6Mean 12
1	4	0.03												4	0.02											
1	26				0.16									26				0.16								
1	89				0.1									89				0.05								
1	80		0.03			0.03								80		0.02			0.02							
1	50					0.15								50					0.08							
1	84								0.05					84								0.03				
1	77								0.05					77								0.03				
2	52	0.06												52	0.03											
2	88								0.06					88								0.03				
2	90									0.03				90									0.02			
2	24									0.19				24									0.07			
2	9								0.09				0.06	9								0.03			0.04	
3	33	0.06												33	0.02											
3	15	0.04												15	0.02											
3	30	0.09			0.05									30	0.02			0.02								
3	35							0.02						35							0.02					
3	86								0.03					86								0.02				
4	54	0.06												54	0.03											
4	92							0.05	0.09					92							0.03	0.07				
4	91				0.02					0.03				91				0.01					0.02			
4	32	0.03									0.11			32	0.02									0.09		
5	31	0.15												31	0.09											
5	76											0.04		76										0.02		
5	74											0.04		74										0.02		
5	93	0.06	0.03	0.02	0.05		0.06						0.03	93	0.07	0.04	0.03	0.05		0.06					0.04	
5	87	0.05	0.04	0.04	0.04		0.05					0.04	0.03	87	0.06	0.06	0.06	0.05		0.06				0.05	0.05	
5	25	0.02												25	0.02											
6	3	0.02												3	0.02											
6	21	0.07	0.08	0.07	0.07									21	0.05	0.05	0.02	0.03								
6	85										0.09			85									0.04			
6	13												0.05	13											0.03	
7	10	0.05	0.09											10	0.02	0.06										
7	78			0.04		0.06	0.06	0.07		0.06				78			0.03		0.04	0.03	0.04		0.03			
8	55				0.06									55				0.04								
8	28				0.36									28				0.16								
8	51						0.05							51						0.02						
8	75					0.03	0.03			0.04	0.02	0.02		75					0.02	0.01			0.02	0.03	0.03	
9	19	0.04	0.06											19	0.01	0.05										
9	81				0.07									81				0.02								
9	34	0.04	0.07	0.12	0.07	0.07								34	0.04	0.06	0.06	0.05	0.06							
9	82						0.08	0.03						82						0.05	0.03					
9	18							0.13	0.15					18							0.07	0.09				

Continuidad...

Clúster	ID_I ND	B7Mea n1	B7Mea n2	B7Mea n3	B7Mea n4	B7Mea n5	B7Mea n6	B7Mea n7	B7Mea n8	B7Mea n9	B7Mea n10	B7Mea n11	B7Mea n12	ID_I ND	TSSMea n1	TSSMea n2	B7Mea n3	TSSMea n4	TSSMea n5	B7Mea n6	TSSMea n7	TSSMea n8	TSSMea n9	TSSMea n10	TSSMea n11	TSSMea n12
1	4	0.01												4	6.58											
1	26				0.08									26				58								
1	89				0.04									89				296								
1	80		0.03			0.02								80		36			11.8							
1	50					0.06								50					196							
1	84								0.02					84								54.5				
1	77								0.02					77								125				
2	52	0.02												52	47.3											
2	88								0.02					88								38.2				
2	90									0.02				90									10.2			
2	24									0.04				24									264			
2	9								0.02				0.04	9								127				61.2
3	33	0.02												33	13.7											
3	15	0.01												15	39.9											
3	30	0.01			0.02									30	17.5			22.5								
3	35							0.02						35						7.99						
3	86								0.01					86								3.91				
4	54	0.07												54	107											
4	92							0.03	0.05					92						296	577					
4	91				0.02					0.05				91				301					172			
4	32	0.01									0.06			32	351								555			
5	31	0.05												31	392											
5	76											0.02		76										194		
5	74											0.02		74										229		
5	93	0.04	0.01	0	0.03		0.04						0.01	93	979	318	280	678		753						364
5	87	0.01	0	0.01	0.01		0.02					0.01	0.01	87	595	442	487	472		693				521	433	
5	25	0.02												25	502											
6	3	0.02												3	2.13											
6	21	0.04	0.04	0.01	0.02									21	4.2	4.33	4.38	4.23								
6	85										0.03			85									0.64			
6	13												0.05	13												2.41
7	10	0.02	0.03											10	176	175										
7	78			0.02		0.05	0.02	0.03		0.02				78			114		19.3	8.99	10.9		33.8			
8	55				0.03									55				14.6								
8	28				0.14									28				81.4								
8	51						0.01							51						36.5						
8	75					0.01	0.01			0.04	0.02	0.04		75					1.32	1.29			2.89	2.96	7.11	
9	19	0.01	0.04											19	105	26.7										
9	81				0.02									81				187								
9	34	0.03	0.05	0.04	0.04	0.05								34	9.73	23.1	113	26.7	23.7							
9	82						0.03	0.02						82						29.1	13.4					
9	18							0.05	0.06					18							10.9	15.2				

Continuidad...

Clúster	ID_IND	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	TSS
1	4	0.035989	0.035664	0.038826	0.037642	0.030494	0.022773	0.00998	6.577705
1	26	0.041615	0.086156	0.071082	0.10915	0.155844	0.162891	0.078321	58.012964
1	89	0.117627	0.121834	0.131576	0.144175	0.103644	0.04984	0.035137	295.875446
1	80	0.0544035	0.056537	0.061687	0.057745	0.0276855	0.0197365	0.0273295	23.910085
1	50	0.105222	0.114227	0.135814	0.162883	0.146643	0.080131	0.061462	195.779931
1	84	0.057046	0.0521	0.054549	0.04223	0.049967	0.030009	0.020124	54.526647
1	77	0.060523	0.064191	0.082533	0.082106	0.050961	0.031851	0.019041	125.359784
2	52	0.055437	0.060375	0.08099	0.089862	0.056912	0.027245	0.023702	47.285567
2	88	0.071149	0.066927	0.064786	0.05381	0.057546	0.030279	0.02062	38.203782
2	90	0.080883	0.073045	0.085538	0.073759	0.02954	0.019504	0.015074	10.243606
2	24	0.04521	0.077658	0.066503	0.146268	0.185306	0.066558	0.038532	264.409853
2	9	0.0699375	0.0758955	0.104386	0.115781	0.0759	0.033037	0.028006	94.133585
3	33	0.065481	0.080893	0.080748	0.095561	0.055641	0.016933	0.024572	13.679383
3	15	0.100826	0.036259	0.042451	0.047212	0.041238	0.016726	0.010633	39.947742
3	30	0.0527445	0.0798095	0.0803925	0.086167	0.069175	0.022166	0.0174625	19.987208
3	35	0.026164	0.029442	0.041597	0.024163	0.02281	0.022082	0.015899	7.991676
3	86	0.027242	0.026724	0.0374	0.055337	0.034532	0.018531	0.010361	3.908487
4	54	0.109445	0.056365	0.051625	0.085295	0.061422	0.029729	0.066506	107.468455
4	92	0.0676105	0.0765495	0.0991035	0.104139	0.0717675	0.050893	0.039581	436.6963925
4	91	0.033655195	0.033487768	0.031585095	0.022639343	0.023695846	0.014891499	0.033745836	236.7635146
4	32	0.060474	0.100397	0.102788	0.08514	0.0688095	0.053839	0.039444	452.763846
5	31	0.091563	0.092022	0.097409	0.093	0.152786	0.092517	0.053614	392.208023
5	76	0.047074	0.05527	0.079245	0.06471	0.039141	0.023719	0.017101	193.554535
5	74	0.044583	0.060942	0.081578	0.066198	0.043207	0.016547	0.015748	228.628594
5	93	0.176568396	0.119244398	0.11153	0.081844069	0.041877079	0.049864794	0.019424669	562.0045063
5	87	0.059995429	0.102023	0.109009286	0.088562571	0.041275571	0.056171429	0.011159857	520.4941516
5	25	0.031024608	0.036953641	0.031776406	0.028576959	0.020217972	0.019749217	0.021120922	502.3140795
6	3	0.051634	0.060524	0.087931	0.0664	0.02384	0.021661	0.021205	2.129616
6	21	0.05906175	0.07250275	0.0978045	0.1017435	0.07143175	0.03756925	0.0268875	4.2876595
6	85	0.068025	0.068859	0.066054	0.076886	0.085304	0.037538	0.027996	0.637985
6	13	0.056516	0.062094	0.079496	0.075275	0.0486	0.029491	0.054902	2.413944
7	10	0.0665465	0.0707185	0.0907535	0.0759195	0.07154	0.0406135	0.025999	175.5115825
7	78	0.0720446	0.079383	0.0727442	0.0707906	0.0556154	0.0346834	0.0276272	37.4728278
8	55	0.018484	0.022906	0.036112	0.04112	0.059966	0.044626	0.028231	14.594334
8	28	0.263107	0.276157	0.284605	0.300087	0.363057	0.161707	0.138537	81.428977
8	51	0.030876	0.017117	0.024885	0.066985	0.052042	0.019095	0.009705	36.544905
8	75	0.0448654	0.049881	0.050838	0.0378298	0.0313966	0.0224334	0.024064	3.1139138
9	19	0.057308	0.055741	0.079081	0.083122	0.050287	0.028339	0.025125	65.617852
9	81	0.041038	0.048823	0.063856	0.074043	0.070677	0.023907	0.016159	187.469673
9	34	0.040679	0.0472856	0.082702	0.090645	0.0734062	0.0548464	0.0397616	39.2233896
9	82	0.090346	0.0933305	0.1045825	0.092824	0.054452	0.036953	0.0274135	21.2507835
9	18	0.110414	0.175836	0.1801515	0.1828445	0.1376315	0.080419	0.0584565	13.03212

APÉNDICE: TABLAS ESTADÍSTICAS

1.1 Valores críticos de la distribución t (estadístico de distribución t)

t	α						
	0.4	0.3	0.2	0.15	0.1	0.05	0.025
1	0.325	0.727	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706
2	0.289	0.617	1.061	1.386	1.886	2.92	1.303
3	0.277	0.584	0.978	1.25	1.638	2.353	3.182
4	0.271	0.569	0.941	1.19	1.533	2.132	2.776
5	0.267	0.559	0.92	1.156	1.476	2.015	2.571
6	0.265	0.553	0.906	1.134	1.444	1.943	2.447
7	0.263	0.549	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365
8	0.262	0.546	0.889	1.108	1.397	1.96	2.306
9	0.261	0.543	0.883	1.1	1.383	1.833	2.62
10	0.26	0.542	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228
11	0.26	0.54	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201
12	0.259	0.539	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179
13	0.259	0.537	0.87	1.079	1.35	1.771	2.16
14	0.258	0.537	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145
15	0.258	0.536	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131
16	0.258	0.535	0.865	1.071	1.337	1.746	2.12
17	0.257	0.534	0.863	1.069	1.333	1.74	2.11
18	0.257	0.534	0.862	1.067	1.33	1.734	2.101
19	0.257	0.533	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093
20	0.257	0.533	0.86	1.064	1.325	1.725	2.086
21	0.257	0.532	0.859	1.063	1.323	1.721	2.08
22	0.256	0.532	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074
23	0.256	0.532	0.858	1.06	1.319	1.714	2.079
24	0.256	0.531	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064
25	0.256	0.531	0.856	1.058	1.316	1.708	2.06
26	0.256	0.531	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056
27	0.256	0.531	0.855	1.058	1.314	1.703	2.052
28	0.256	0.53	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048
29	0.256	0.53	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045
30	0.256	0.53	0.854	1.055	1.31	1.697	2.042
40	0.255	0.529	0.851	1.05	1.303	1.684	2.021
60	0.254	0.527	0.848	1.045	1.296	1.671	2
120	0.254	0.526	0.845	1.041	1.289	1.658	1.98
∞	0.253	0.524	0.842	1.036	1.282	1.645	1.96

Fuente: Walpole y Eddy, 1996.

1.2 Distribución Chi-cuadrada en relación con el p-value

v/p	p-value						
	0.001	0.0025	0.005	0.01	0.025	0.05	0.1
1	10.8274	9.1404	7.8794	6.6349	5.0239	3.8415	27.055
2	13.815	11.9827	10.5965	9.2104	7.3778	5.9915	46.052
3	16.266	14.3202	12.8381	11.3449	9.3484	7.8147	62.514
4	18.4662	16.4238	14.8602	13.2767	11.1433	9.4877	77.794
5	20.5147	18.3854	16.7496	15.0863	12.8325	11.0705	92.363
6	22.4575	20.2491	18.5475	16.8119	14.4494	12.5916	106.446
7	24.3213	22.0402	20.2777	18.4753	16.0128	14.0671	120.17
8	26.1239	23.7742	21.9549	20.0902	17.5345	15.5073	133.616
9	27.8767	25.4625	23.5893	21.666	19.0228	16.919	146.837
10	29.5879	27.1119	25.1881	23.2093	20.4832	18.307	159.872
11	31.2635	28.7291	26.7569	24.725	21.92	19.6752	172.75
12	32.9092	30.3182	28.2997	26.217	23.3367	21.0261	185.493
13	34.5274	31.883	29.8193	27.6882	24.7356	22.362	198.119
14	36.1239	33.4262	31.3194	29.1412	26.1189	23.6848	210.641
15	37.6978	34.9494	32.8015	30.578	27.4884	24.9958	223.071
16	39.2518	36.4555	34.2671	31.9999	28.8453	26.2962	235.418
17	40.7911	37.9462	35.7184	33.4087	30.191	27.5871	247.69
18	42.3119	39.422	37.1564	34.8052	31.5264	28.8693	259.894
19	43.8194	40.8847	38.5821	36.1908	32.8523	30.1435	272.036
20	45.3142	42.3358	39.9969	37.5663	34.1696	31.4104	284.12
21	46.7963	43.7749	41.4009	38.9322	35.4789	32.6706	296.151
22	48.2676	45.2041	42.7957	40.2894	36.7807	33.9245	308.133
23	49.7276	46.6231	44.1814	41.6383	38.0756	35.1725	320.069
24	51.179	48.0336	45.5584	42.9798	39.3641	36.415	331.962
25	52.6187	49.4351	46.928	44.314	40.6465	37.6525	343.816
26	54.0511	50.8291	48.2898	45.6416	41.9231	38.8851	355.632
27	55.4751	52.2152	49.645	46.9628	43.1945	40.1133	367.412
28	56.8918	53.5939	50.9936	48.2782	44.4608	41.3372	379.159
29	58.3006	54.9662	52.3355	49.5878	45.7223	42.5569	390.875
30	59.7022	56.3325	53.6719	50.8922	46.9792	43.773	402.56
31	61.098	57.6921	55.0025	52.1914	48.2319	44.9853	414.217
32	62.4873	59.0461	56.328	53.4857	49.4804	46.1942	425.847
33	63.8694	60.3953	57.6483	54.7754	50.7251	47.3999	437.452
34	65.2471	61.7382	58.9637	56.0609	51.966	48.6024	449.032
35	66.6192	63.076	60.2746	57.342	53.2033	49.8018	460.588
36	67.985	64.4097	61.5811	58.6192	54.4373	50.9985	472.122
37	69.3476	65.7384	62.8832	59.8926	55.668	52.1923	483.634
38	70.7039	67.0628	64.1812	61.162	56.8955	53.3835	495.126
39	72.055	68.383	65.4753	62.4281	58.1201	54.5722	506.598
40	73.4029	69.6987	66.766	63.6908	59.3417	55.7585	518.05

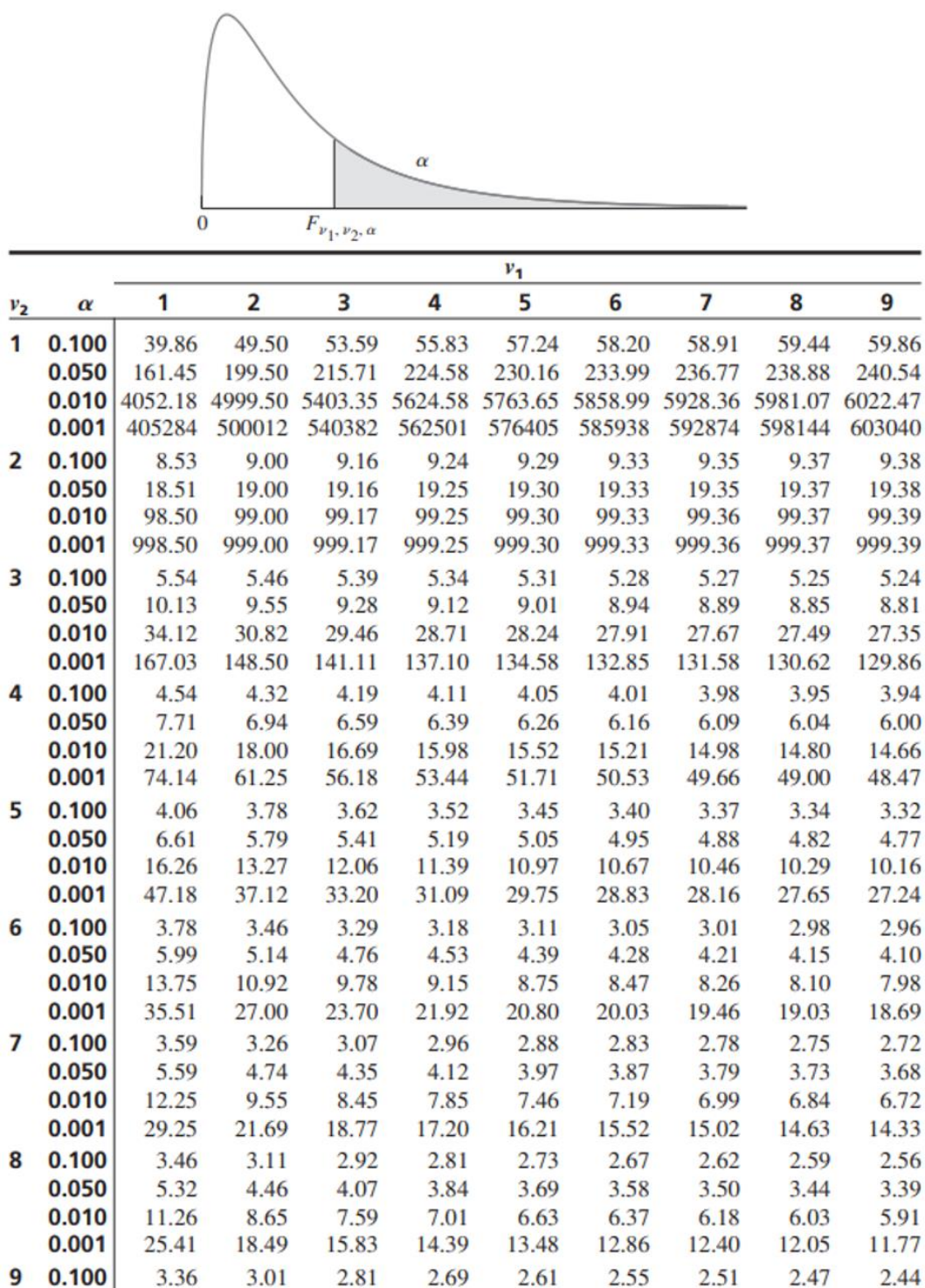
Fuente: obtenido de Walpole & Myers (1989).

1.3 Nivel de confianza de acuerdo con distintos intervalos de confianza

N. de confianza	90%	91%	92%	93%	94%	95%	96%	97%	98%	99%
Z	1.64	1.7	1.75	1.81	1.88	1.96	2.05	2.17	2.33	2.58

Simbología: Valor de la tabla estadística (Z).

1.4. Tabla de distribución Chi-cuadrado para contraste de validación



Simbología; intervalo de confianza (α), grados de libertad (V_n). Fuente: Samaniego, 2014.

1.5. Valores críticos de la distribución t (estadístico de distribución t) para validación.

t	α						
	0.4	0.3	0.2	0.15	0.1	0.05	0.025
1	0.325	0.727	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706
2	0.289	0.617	1.061	1.386	1.886	2.92	1.303
3	0.277	0.584	0.978	1.25	1.638	2.353	3.182
4	0.271	0.569	0.941	1.19	1.533	2.132	2.776
5	0.267	0.559	0.92	1.156	1.476	2.015	2.571
6	0.265	0.553	0.906	1.134	1.444	1.943	2.447
7	0.263	0.549	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365
8	0.262	0.546	0.889	1.108	1.397	1.96	2.306
9	0.261	0.543	0.883	1.1	1.383	1.833	2.62
10	0.26	0.542	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228
11	0.26	0.54	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201
12	0.259	0.539	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179
13	0.259	0.537	0.87	1.079	1.35	1.771	2.16
14	0.258	0.537	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145
15	0.258	0.536	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131
16	0.258	0.535	0.865	1.071	1.337	1.746	2.12
17	0.257	0.534	0.863	1.069	1.333	1.74	2.11
18	0.257	0.534	0.862	1.067	1.33	1.734	2.101
19	0.257	0.533	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093
20	0.257	0.533	0.86	1.064	1.325	1.725	2.086
21	0.257	0.532	0.859	1.063	1.323	1.721	2.08
22	0.256	0.532	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074
23	0.256	0.532	0.858	1.06	1.319	1.714	2.079
24	0.256	0.531	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064
25	0.256	0.531	0.856	1.058	1.316	1.708	2.06
26	0.256	0.531	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056
27	0.256	0.531	0.855	1.058	1.314	1.703	2.052
28	0.256	0.53	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048
29	0.256	0.53	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045
30	0.256	0.53	0.854	1.055	1.31	1.697	2.042
40	0.255	0.529	0.851	1.05	1.303	1.684	2.021
60	0.254	0.527	0.848	1.045	1.296	1.671	2
120	0.254	0.526	0.845	1.041	1.289	1.658	1.98
∞	0.253	0.524	0.842	1.036	1.282	1.645	1.96

Fuente: Walpore y Eddy,1996