



**FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA
ÁREA AMBIENTE**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

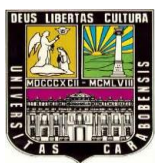
**presentado para optar al título de
Maestría por la Universidad de Carabobo
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA**

**CALIBRACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS DE PARÁMETROS
FISICOQUÍMICOS DE CALIDAD DE AGUA DEL LAGO DE VALENCIA,
UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES.**

**Autor:
Ing. Cristina Lara
C.I.: 7.140.262**

**Tutora:
Dra. Adriana M. Márquez R.**

Bárbula, Mayo 2019



**FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA
ÁREA AMBIENTE**

**CALIBRACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS DE PARÁMETROS
FISICOQUÍMICOS DE CALIDAD DE AGUA DEL LAGO DE VALENCIA,
UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES.**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**Ing. Cristina Lara
Maestrante en Ingeniería
Área: Ambiente**

**Dra. Adriana M. Márquez Romance
Tutora**

MAYO 2019



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCIÓN DE ESTUDIOS PARA GRADUADOS
SECCIÓN DE GRADO



ACTA DE DISCUSIÓN DE TRABAJO DE GRADO

En atención a lo dispuesto en los Artículos 137, 138 y 139 del Reglamento de Estudios de Postgrado de la Universidad de Carabobo, quienes suscribimos como Jurado designado por el Consejo de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a lo previsto en el Artículo 135 del citado Reglamento, para estudiar el Trabajo de Grado titulado:

“CALIBRACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS DE PARÁMETROS BIOFÍSICOS DE CALIDAD DE AGUA DEL LAGO DE VALENCIA, UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES”

Presentado para optar al grado de **MAGÍSTER EN INGENIERÍA
AMBIENTAL** por el (la) aspirante:

CRISTINA LARA
V.- 7.140.262

Habiendo examinado el Trabajo presentado, decidimos que el mismo está **APROBADO**.

En Valencia, a los cinco (05) día del mes de Junio del año dos mil diecinueve.


Prof. Adriana Márquez
C.I.: 12604007
Fecha: 05/06/2019


Prof. Bettys Fariás
C.I.: 8359099
Fecha: 05/06/2019
FE: 04/06/2019 /D6.-


Prof. Samuel Cárdenas
C.I.: 11.753.640
Fecha: 05/06/2019

UNIVERSIDAD DE CARABOBO / DIRECCION DE POSTGRADO

FACULTAD DE INGENIERÍA NAGUANAGUA SECTOR BARBULA - Teléfonos Directos: (0241) 8672829 / 8674268 - 8678885 EXT 102. FAX - (0241) 8671665 <http://postgrado.ing.uc.edu.ve>

DEDICATORIA

Al Tiempo, Sí al Valioso y Paciente TIEMPO...Constante que no se detiene y que a muchos Inspira

A MI, Pues debemos disfrutar de lo que logramos y así darlo a conocer

A MIS Hijos SANTIAGO y DANIELA, Juntos logramos Nuestros Objetivos sin IMPORTAR Cuanto TIEMPO NOS LLEVE LOGRARLO

AGRADECIMIENTOS

A mi tutora y profesora por atenderme y explicarme cada fragmento de este trabajo, dedicando su tiempo dando su mayor esfuerzo para lograr la culminación del mismo, alentándome a no rendirme y llegar hasta donde estoy ahora. Profe Adriana Márquez Usted es una Profesional de Alto Nivel en todos los sentidos y sé que al igual que yo Todos los de esta Maestría culminante 2019 estamos profundamente agradecidos y nos sentimos privilegiados de que Usted fuese Nuestra Tutora



**FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA
ÁREA AMBIENTE**

Título: CALIBRACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE CALIDAD DE AGUA DEL LAGO DE VALENCIA, UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES.

Autor: Ing. Cristina Lara

Tutora: Dra. Adriana Márquez Romance

RESUMEN

La importancia estratégica del lago de Valencia tanto para el Estado Carabobo como para Venezuela, por ser una gran fuente de recursos naturales y económicos, lleva a la constante búsqueda de soluciones que sobre Planes de Control y monitoreo de parámetros relacionados a la Calidad de sus aguas puedan promoverse en el contexto científico y tecnológico. Esta investigación promueve el uso de procesamiento de imágenes satelitales con fines de Investigación en áreas de evaluación de Calidad de Aguas en tiempo real y a una reducción de costos de monitoreo de parámetros considerable lo que convierte a la línea de Investigación de la Maestría en Ingeniería Ambiental en promotora del uso de la Herramienta de Teledetección en nuestro País, en concordancia al contenido programático de las materias del programa.

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	8
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA.....	9
1.1 Planteamiento del Problema.....	9
1.2 Formulación del Problema.....	10
1.3 Objetivos de la Investigación.....	11
1.3.1 Objetivo General.....	11
1.3.2 Objetivos Específicos.....	11
1.4 Justificación.....	12
1.5 Limitaciones.....	13
CAPÍTULO II. MARCO DE REFERENCIA	
2.1 Antecedentes.....	14
2.2 Bases Teóricas.....	14
2.2.2 Descripción del Lago de Valencia.....	15
2.2.3 Programa de saneamiento del Lago de Valencia.....	15
2.2.4 Reflectividad del Agua.....	16
2.2.5 Teledetección y calidad de aguas.....	17
2.2.6 Series Temporales.....	18
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	
3.1 Tipo de Investigación.....	19
3.2 Diseño de la Investigación.....	19
3.3 Técnicas de Recolección de Información.....	20
3.4 Etapas de la Investigación.....	21
3.4.1 Etapa de Diagnóstico.....	21
3.4.2 Recolección de Información.....	22
3.4.2.1 Imágenes Landsat 8 OLI.....	22
3.4.2.2 Data de Parámetros Físicoquímicos del agua del Lago.....	23
3.4.3 Procesamiento de Datos.....	24
3.4.3.5 Procesamiento de la Imagen.....	24
3.4.3.5.1. Calibrado de números digitales.....	24
3.4.3.5.2 Reflectancia superficial Landsat Collection 1.....	24
CAPÍTULO VI. ANALISIS DE RESULTADOS.....	25
CAPITULO V . CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	31
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	33

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.....	..26
Figura 2.27
Figura 3.....	..28.
Figura 428

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	21
Tabla 2.23
Tabla 3.....	..30

INTRODUCCION

En la actualidad son múltiples los problemas logísticos relacionados a vigilancia y control de elementos contaminantes en las aguas del Lago de Valencia, debido en gran parte a los costos relacionados y el mantenimiento en el tiempo del monitoreo. Es por ello que esta investigación está orientada a promover el uso de imágenes satelitales a través de modelos lineales multi variables de donde se pueden estimar los parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua, reduciendo con ello la inversión de recursos económicos sobre todo los generados en el trabajo de campo, en análisis de laboratorio y horas de trabajo del personal técnico que se requiere

En el Capítulo I, se presenta el planteamiento del problema haciendo énfasis en los inconvenientes y limitantes que representan el monitoreo continuo de parámetros fisicoquímicos en un número considerable de estaciones ubicadas en su mayoría en áreas de descarga de los tributarios del Lago de Valencia. El Capítulo II, se refieren los antecedentes y los aspectos teóricos que fundamentan el presente trabajo que a su vez permiten interpretar la información que se obtuvo durante el transcurso de la realización del mismo entre la que destaca la carencia de estudios similares en Venezuela. En el Capítulo III, Se estructura el marco metodológico a utilizar, resaltando que la adquisición de imágenes es una información de libre acceso que la hace flexible para el uso de esta herramienta. Los programas de procesamiento de imágenes seleccionados del Landsat 8 OLI empleándose el software Erdas Imagine 2014 en el apilamiento de todas las bandas de la imagen que posteriormente usan para interpretar los datos recabados con el uso de ArGis 10.1 y con ello el cubrimiento de los objetivos obteniendo resultados satisfactorios.

El Capítulo IV, Muestra los resultados obtenidos con los modelos matemáticos aplicables a cada parámetro fisicoquímico y biológico que se seleccionó de acuerdo a la disponibilidad de datos, De estos resultados los análisis que derivan proporcionan alternativas al tratamiento de la problemática del Lago de Valencia además de como incide el uso de la herramienta de teledetección en la obtención de información sobre la calidad del agua en tiempo real

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las necesidades mundiales de control de la Contaminación especialmente sobre los recurso hídricos se hace cada día mas imprescindible y tal como señalan (Ferrara y otros 2008) la alta variabilidad del recurso Agua, su distribución desigual sobre la superficie terrestre y el deterioro de la calidad de esta conllevan a que solo un tercio del recurso potencial se pueda aprovechar. (Camilo E. y otros 2009) manifiestan que en la actualidad el aprovechamiento sostenible, gestión y conservación de los recursos naturales son fundamentales para encarar los retos de la Agenda Ambiental Global. De igual forma resulta en reflexión que con señalamientos como este, bien pudiese afirmarse que los controles o monitoreo que se han estado llevando por décadas en muchos casos no han sido suficientes para detener el deterioro de la calidad del agua a nivel mundial. Una de las principales causas de esta fallas en Planes de Control y monitoreo efectivo sobre la contaminación de recursos hídricos bien pudiera ser no disponer o sub-utilizar técnicas más avanzadas como es el caso de la Teledetección o Percepción Remota.

La Teledetección es una herramienta de información que en el Mundo Globalizado se hace cada día más indispensable. (González y otros, 2013) hacen énfasis en que es una de las técnicas mejor desarrolladas en los últimos años para la obtención de imágenes de la tierra. (Rodríguez y Arredondo, 2005) La teledetección se utiliza para determinar características físicas y biológicas de la superficie terrestre y dentro de las principales aplicaciones están las ambientales destacándose el monitoreo de la calidad de cuerpos de agua, lo que representa un reto en los actuales momentos.

Para el caso Venezuela ha habido grandes avances en la adquisición de Satélites como es el caso del Satélite Miranda (Desde septiembre de 2012) cuya

misión es proporcionar imágenes de alta resolución del territorio Venezolano que sirvan de base de estudios de suelo y agua. (Urrego 2015) manifiesta que no se tiene hasta el momento conocimiento de estudios y/o publicaciones realizadas acerca de aplicaciones medioambientales utilizando este Satélite.

Por otra parte en Venezuela apenas es que comienza el proceso para consolidar la introducción de la Variable Ambiental en las Políticas de Desarrollo, en medio de severas condiciones económicas. Ante esta situación las autoridades Nacionales, Locales y Regionales han propiciado que se dirijan importantes esfuerzos a la preservación en cantidad y calidad del agua particularmente en el lago de Valencia. Por tal motivo se inició hace poco más de una década el Programa de Saneamiento Ambiental Integral de la Cuenca del Lago de Valencia con el propósito de contribuir a la resolución de problemas tales como: contaminación de las aguas del lago, embalses y tributarios, ascenso del nivel del lago, limitación de uso del recurso hídrico y en general mejorar el problema de salud pública de la Cuenca

Dentro de los estudios y Plan de Saneamiento de la Cuenca del Lago de Valencia que han venido desarrollándose esta la evaluación de la calidad de los tributarios considerando los tipos de contaminantes que son vertidos en los ríos y el cumplimiento de las normas establecidas en el Decreto 3219 “Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de las Aguas de la Cuenca del Lago de Valencia” Dichas evaluaciones se han ejecutado con cierta constancia pero los resultados obtenidos están carente de acciones ante los hallazgos (De La Hoz y Gotilla, 2009) El Ministerio del Ambiente desde 1978 ha venido realizando estudios con el fin de evaluar el grado de contaminación del lago y su evolución en el tiempo. Sin embargo de cuarenta estaciones de muestreo que fueron ubicadas actualmente solo trece están activas, disminución que se ve influenciada por los costos operacionales que implica

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Como seleccionar imágenes satelitales? Cuales criterios se deben emplear para la selección de imágenes satelitales? Se posibilita en tiempo real el monitoreo de calidad de aguas del lago con imágenes satelitales? Cuáles son las ventajas del uso de modelos matemáticos obtenidos del procesamiento de imágenes en el control de la calidad del agua del Lago de Valencia? Como caracterizar los parámetros biofísicos de la calidad del agua en el Lago de Valencia con el uso de imágenes satelitales de sensores remotos?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Calibrar Modelos Matemáticos de Parámetros fisicoquímicos y biológicos de Calidad de Agua del Lago de Valencia, utilizando Imágenes Satelitales

1.3. 2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las Imágenes Satelitales a ser utilizadas en los Modelos Matemáticos de parámetros Fisicoquímicos y biológicos de Calidad de Agua del Lago de Valencia
- Aplicar técnicas de corrección de imágenes Satelitales a ser usadas en los Modelos matemáticos
- Describir las Series Temporales de los Parámetros Fisicoquímicos y biológicos de Calidad de Agua del Lago de Valencia
- Estimar la reflectancia espectral utilizando imágenes satelitales

1.4 JUSTIFICACIÓN

(González y otros, 2013) refieren que las misiones científicas sobre la Tierra como SMOS-Humedad del Suelo y Salinidad Oceánica se enfocan al ciclo del agua dulce, previsiones del tiempo clima y eventos extremos y apenas se iniciaron en el año 2009. Por ello se busca promover e incrementar el uso de la Teledetección en los planes de control y monitoreo de la calidad del agua especialmente para el Lago de Valencia

El Lago de Valencia o Lago de Los Tacariguas ubicado entre los Estados Carabobo y Aragua, viene a conformar una de las dieciséis regiones Hidrográficas más importantes del País (Ley de Aguas 2017). Y es que éste se encuentra estratégicamente ubicado en una zona territorial predilecta para el desarrollo Industrial y Agrícola lo que lo convierte en una fuente de agua natural vulnerable a los efectos antropogenicos y de contaminación industrial la cual se incrementa dadas las características de la cuenca que es Endorreica (no tiene salida al mar).

La importancia estratégica del lago de Valencia tanto para el Estado Carabobo como para Venezuela, por ser una gran fuente de recursos naturales y económicos, lleva a la constante búsqueda de soluciones que sobre Planes de Control y monitoreo de parámetros relacionados a la Calidad de sus aguas puedan promoverse en el contexto científico y tecnológico.

Esta investigación promueve el uso de procesamiento de imágenes satelitales con fines de Investigación en áreas de evaluación de Calidad de Aguas en tiempo real y a una reducción de costos de monitoreo de parámetros considerable lo que convierte a la línea de Investigación de la Maestría en Ingeniería Ambiental en promotora del uso de la Herramienta de Teledetección en nuestro País, en concordancia al contenido programático de las materias del programa.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

La siguiente investigación pretende calibrar los modelos matemáticos para evaluar parámetros físicoquímicos y biológicos como indicadores de la calidad del agua del Lago de Valencia utilizando imágenes obtenidas con Landsat 8 OLI corregidas, todo esto con la finalidad de suministrar una herramienta que permita conocer el estado de las aguas del lago y su condición ambiental a una escala amplia, tanto espacial como temporal

Dentro de las Limitaciones de esta investigación se destaca que son pocos los estudios o investigaciones en este campo de Teledetección en el lago de Valencia. Sin embargo en este trabajo se utilizaran herramientas de teledetección, específicamente imágenes Landsat 8 OLI con fines de facilitar la evaluación de la calidad del agua del Lago por medio de la validación de los modelos matemáticos aplicados a los parámetros de control de la calidad de agua todo esto en vista que por ser un modo de bajo costo y fácil manejo bien se puede así lograr la revisión de sus parámetros biofísicos de nivel de calidad de agua que contiene en cualquier punto de la imagen procesada

Por otra parte se tiene también como limitaciones en esta investigación la disponibilidad dispersa de la información de datos existente sobre la calidad del agua ya que muchas de las estaciones de monitoreo se han abandonado o están parcialmente activas, Actualmente las administra el Ministerio para las Aguas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

En Venezuela son pocos los trabajos que sobre uso de teledetección en investigación ambiental se refiere y particularmente sobre el Lago de Valencia apenas se están generando desde hace pocos años líneas de investigación al respecto. (Urrego Esther, 2016) Señala que con la información obtenida a partir de las imágenes satelitales, se pueden analizar grandes superficies de la Tierra, disminuyendo tiempos y costes operacionales. Esto incluye la posibilidad de investigar las cubiertas de agua, desde lagos pequeños hasta grandes masas oceánicas, considerándose como una alternativa eficaz para el estudio de dicho recurso natural

C. De La Hoz y C. Gotilla (2009) manifiestan en su estudio sobre el Lago de Valencia que la Situación de este ofrece suficientes razones para el seguimiento de su calidad a través de Imágenes ya que es un cuerpo de agua importante y de gran tamaño ubicado en la zona centro-norte de Venezuela, receptor de grandes cantidades de los desechos provenientes de las diferentes actividades urbanas, agrícolas e industriales que se desarrollan en la cuenca y deterioran su calidad, presenta un acelerado proceso de eutrofización natural y mineralización de sus aguas, producto del gran aporte de nutrientes que fluyen al lago.

(Martínez Juan, 2015) señala en su trabajo de grado que El descubrimiento del Lago de Valencia ocurre el 24 de diciembre de 1547 por Don Juan de Villegas. Ocupa parcial o totalmente la superficie de 8 municipios del estado Carabobo y 10 del estado Aragua. También indica que un total de 53% de esta superficie corresponde a áreas planas, 35% a áreas montañosas y 12% a superficie de agua. En ella habita cerca de 10% de la población, siendo una de las regiones más densamente pobladas de Venezuela y se concentra 30% de la actividad industrial secundaria (manufacturera) del país.

(Rosa Ródenas Aroca, 2001) señala que sobre el Lago de Valencia se han ido generando problemas ambientales, lo que ha motivado que esta región sea sometida a un régimen de administración especial o de manejo, por la promulgación del Decreto N° 304 del 20/09/79, en la que se declara Área Crítica con Prioridad de Tratamiento Cuenca del Lago de Valencia. Entre los principales problemas están: contaminación por Fuentes Puntuales, por Fuentes no puntuales. Ascenso de los niveles, incremento de la demanda de agua en la Cuenca, ocupación del Territorio, deterioro de la calidad de los acuíferos entre otros, Toda esta problemática apunta a la necesidad de vigilancia y control además de propiciar la continuidad de estudios en la calidad de agua del Lago.

Se han llevado a cabo Investigaciones por el Laboratorio de calidad Ambiental del Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo (MINEC). Dentro de los estudios de Investigación que se mencionan está el de los tributarios del lago de Valencia titulado “Situación actual de la Calidad del Agua de la Cuenca del Lago de Valencia” (MARN, 2004); en donde se concluye entre otras que el principal agente de contaminación de las aguas del lago, son las descargas residuales de origen domésticas e industrial que eran incorporadas al lago a través de la red de ríos y canales industriales tributarios. Por otra parte en el informe también se concluye que la red de tributarios tienen poco caudal el cual se manifiesta en el rango de (0,1 – 3,0 m³ /s), y en su mayoría son mantenidos por el aporte constante de fuentes puntuales, siendo el aporte total de los 21 tributarios que vierten sus aguas al lago, de aproximadamente 9 m³ /s en época seca y 13 m³ /s en época de lluvia. De igual modo da a conocer que el mayor aporte en termino de materia orgánica hasta el año 1999, viene dado por el Estado Carabobo siendo el río Los Guayos el que mayor aporte proporciona; sin embargo esta situación es revertida a partir del año 2000, atribuyéndose tal situación a la puesta en marcha de la planta de tratamiento de aguas residuales Los Guayos (Romero Juan, 2017).

(Sobrino Raquel, 2014) El estudio de lagos mediante Teledetección es una herramienta útil para controlar parámetros de calidad de las aguas, como la concentración de clorofila-a o la transparencia ya que Proporciona una buena cobertura espacial y temporal a costo reducido. Por tanto como método de estudio

de la calidad ambiental de una masa de agua, presenta una serie de ventajas con respecto a los métodos de muestreo *in situ*. Al basarse en imágenes, las observaciones no son invasivas, el costo de acceso a los datos es bajo, se pueden tener mediciones durante todo el año mediante instrumentos que se calibran regularmente, y sobre todo, proporcionan observaciones de toda la superficie del cuerpo acuático, mientras que la toma de datos *in situ*, sólo permite realizar muestreos puntuales cuyo coste aumenta con el número de estos. Por otro lado con la teledetección se presenta ciertas limitaciones, debido a que la radiación electromagnética sólo penetra unos pocos metros en el máximo, bajo la superficie del agua; en el infrarrojo cercano y medio donde la penetración electromagnética no llega a ser de centímetros.

2.2. BASES TEORICAS

Lago endorreico: Se refiere a un Lago es donde no es evacuada cantidades significativas de agua. No tiene salida al mar

2.2.1 DESCRIPCION DEL LAGO DE VALENCIA

(MARN 2001) La Cuenca del Lago de Valencia se localiza en la parte centro-norte del país, ocupando parte de los estados Aragua y Carabobo. Con una superficie de 3.140 km², de los cuales 375 Km² corresponde al espejo de agua del lago y 12 km² a los embalses Suata y Taiguaiguay. Se encuentra ubicada entre las coordenadas geográficas 67° 07' y 68° 12' de longitud Oeste y 09° 57' y 10° 26' de latitud Norte, limitada por el Norte con la Cuenca del Mar Caribe, por el Sur con las Cuencas de los ríos Guárico y Pao, por el Este con la Cuenca del río Tuy y por el Oeste por Cuenca del Lago de Valencia que ocupa una depresión formada por el hundimiento de la corteza terrestre de las formaciones montañosas del Litoral y del Interior de la Cordillera de la Costa, lo que dio origen a una fosa tectónica por acción de la falla de la Victoria, conocida con el nombre de "Graben de Valencia".

El clima en la cuenca, es de notable diversidad físico-natural, determinando la presencia de varios pisos bioclimáticos, los cuales van desde el tropical seco en la

depresión del lago, hasta el tropical húmedo en las áreas montañosas. La humedad está influenciada por los vientos alisios que penetran por el norte y los vientos llaneros que incursionan por el sur. La temperatura media anual en el área plana de la cuenca varía entre 24,5 °C y 27 °C, la media mensual al final del período seco es de 33,4 °C, mientras que en el área de la montaña la temperatura media anual es 14-15 °C. La precipitación media anual de la cuenca alcanza entre los 1.000 mm y 1.800 mm en las áreas de montaña, mientras que en la depresión del Lago de Valencia oscila entre 900 mm y 1.300 mm aproximadamente. La evaporación anual promedio estimada en la cuenca es entre 900 y 2.000 mm, los meses de febrero a mayo son los de valores más altos de evaporación. La época seca comprende de noviembre a abril, mientras que la época de lluvia es de mayo a octubre. (MARNR, 1991- ATLAS, 1998)..

2.2.2 PROGRAMA SANEAMIENTO AMBIENTAL

Las actividades económicas de mayor desarrollo en la cuenca en orden de importancia son: industriales, servicios y agrícola. La industrialización se ha caracterizado por un crecimiento fuerte en los últimos 30 años, favorecido por una política de estímulo al sector. A esta ventaja se une la red de comunicaciones, la cercanía de mayores mercados y la mano de obra abundante, existiendo unas 2.000 industrias, generando el 30 % del empleo fabril del país. Este sector presenta un perfil industrial bastante completo, en donde casi todas las ramas industriales están representadas, tales como, textiles, papeleras, metalmecánicas, alimenticias, productos farmacéuticos, ensamblaje de vehículos, entre otras. (MARNR, 1991).

Las Fuentes puntuales de contaminación dl Lago de Valencia según señala (MARN) La fuente más importante de contaminación en la cuenca del Lago de Valencia son las descargas de fuentes puntuales hacia los ríos y canales afluentes al lago, generados por las distintas poblaciones y actividades industriales, siendo el Lago de Valencia el receptor final de alrededor del 80 % de estas descargas, correspondiendo el 20 % restante a los embalses Suata y Taiguaguay. Los principales componentes de la contaminación en los efluentes son materia orgánica,

nutrientes, altos niveles de sales disueltas, sólidos en suspensión, coliformes, metales pesados y otras sustancias tóxicas.

SITUACIÓN ACTUAL DE LA CUENCA DEL LAGO DE VALENCIA

En estudios llevados por el MARN se ha considerado la variabilidad de los resultados de los diversos parámetros analizados y su distribución tanto horizontal como vertical. En la distribución horizontal se tomó en cuenta la influencia de la dispersión de los principales tributarios afluentes al lago y las variaciones de concentraciones de los diversos parámetros físicos y químicos, dividiendo el lago en tres zonas:

Zona 1: Hacia la parte Sur-occidental del lago, zona de influencia de los ríos Los Guayos y

Caño Central. Comprende las estaciones 5, 6, 3 y 24.

Zona 2: Hacia la parte Nor-oriental, zona de influencia del río Güey, Maracay, Turmero y

Canales industriales. Abarca las estaciones 33, 34, 16 y 17.

Zona 3: Comprende la parte central del lago, y las estaciones serían 20, 12A, 0, 40 y 39. Estas estaciones serían las más representativas de la calidad de las aguas del lago, por no tener influencia directa de los ríos con mayor caudal y cargas orgánicas.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio se enmarca dentro del concepto de análisis cuantitativo de los parámetros Físicoquímicos y biológicos a través de imágenes satelitales procesadas del Landsat 8 OLI seleccionadas en función de la época de sequía donde son más altos los niveles de contaminantes críticos como el N, P. Los criterios para la selección de imágenes Landsat a utilizarse son: imágenes de una misma temporada de cada año considerando la cobertura más baja de nubes, aerosoles y neblina.

En el trabajo se calibran un grupo de parámetros Físicoquímicos y biológicos del Lago de Valencia mediante la comparación de modelos matemáticos que resultan del procesamiento de imágenes del satélite Landsat 8 OLI

DISEÑO DE LA INVESTIGACION

(Hernández y otros 1996) sugiere que de acuerdo a la estrategia de la investigación esta se puede clasificar como una investigación no experimental, donde se observan los fenómenos tal y como se dan en su contexto. También según refiere Sabino (2007) el diseño de la investigación consiste en “proporcionar un modelo de verificación que permita contrastar hechos con teorías, y su forma es la de una estrategia o plan general que determinan las operaciones necesarias para hacerlo”.

Siguiendo con lo antes expuesto los fenómenos observados en esta investigación son: concentraciones de sustancias químicas y biológicas que funcionan como indicadores de la calidad o deterioro de las aguas del Lago de Valencia.

TECNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACION

En cuanto a la recopilación de información se tiene la que desarrolla el ente gubernamental o Ministerio competente en la vigilancia y control de calidad de agua del Lago de Valencia. No se tienen otras fuentes propias ni privadas que puedan sugerir su uso en la presente investigación. Con esto se cumple con el criterio de que toda medición o instrumento de recolección de datos debe tener dos requisitos esenciales: confiabilidad y validez.

La confiabilidad de un instrumento de medición se refiere al grado en que su aplicación repetida al mismo objeto, produce iguales resultados, la validez se refiere al grado en que un instrumento realmente mide la variable que pretende medir. (Hernández y otros, 1996).

En esta investigación se plantea como objetivo general Calibrar Modelos Matemáticos de Parámetros Biofísicos de Calidad de Agua del Lago de Valencia, utilizando Imágenes Satelitales. Por lo que hace necesario disponer de imágenes satelitales de la cuenca en estudio a una escala de 1:25000. Las mismas son obtenidas por internet a través de www.earthexplorer.usgs.gov

Este trabajo tiene como técnicas de recolección de datos la observación científica indirecta, que ocurre cuando el investigador conoce del hecho mediante observaciones realizadas anteriormente por otras personas, y la observación estructurada que se realiza con la ayuda de elementos técnicos apropiados, y como instrumentos o medios para obtener la información se dispuso de imágenes satelitales del Landsat 8 OLI de los años 2014 al 2017

ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación se desarrolló en cuatro fases o etapas:

- 1.- Diagnóstico.
- 2.- Recolección de información
- 3.- Procesamiento de datos.
- 4.- Análisis de resultados.

1era. Etapa Diagnóstico

En esta etapa se seleccionó el compendio de imágenes de los años 2014 al 2017 con el criterio de búsqueda de época de sequía, las mismas correspondían a la zona 4 áreas donde se efectuó la investigación: La Cuenca del Lago de Valencia se localiza en la parte centro-norte del país, ocupando parte de los estados Aragua y Carabobo. Con una superficie de 3.140 km², de los cuales 375 Km² corresponde al espejo de agua del lago y 12 km² a los embalses Suata y Taiguaiguay. Se encuentra ubicada entre las coordenadas geográficas 67° 07' y 68° 12' de longitud Oeste y 09° 57' y 10° 26' de latitud Norte, limitada por el Norte con la Cuenca del Mar Caribe, por el Sur con las Cuencas de los ríos Guárico y Pao, por el Este con la Cuenca del río Tuy y por el Oeste por Cuenca del Lago de Valencia

2da. Etapa Recolección de la Información

- **Objetivo 1:** Identificar las Imágenes Satelitales a ser utilizadas en los Modelos Matemáticos de parámetros fisicoquímicos y biológicos de calidad de agua del Lago de Valencia

Primeramente se utiliza Landsat-8 el cual es un satélite que cuenta con dos sensores, OLI (Operational Land Imager) con nueve bandas espectrales, y TIRS (Thermal Infrared Sensor), con dos bandas espectrales en el infrarrojo térmico. Las imágenes Landsat se han descargado de la página web del USGS Earth Explorer, Omitiendo las que tienen más de un 80 % la cobertura de nubes. Los datos tienen una resolución espacial de 30 metros y están referenciados usando la Zona UTM 19 y datum WGS84. La mayoría de las imágenes no fueron tomadas el día exacto en el que se recogieron los datos in situ, lo que podría introducir algún error en los resultados, aunque existen estudios en los que se han empleado datos de satélites y de campo tomados en diferente fecha, con la premisa de que aunque una

diferencia de un día produce mejores calibraciones, es aceptable aumentar esta ventana cuando los datos son escasos (Larkin J.,2014).

Las imágenes Satelitales a trabajar se obtendrán a través de la Web con el programa Google Earth de donde se toman escenas del relieve de la cuenca del Lago de Valencia la cual se delimita (Mascara)- Posteriormente las imágenes se procesaron basándose en el Numero Digital (DN) siendo esta variable transformada a radiancia R_λ que luego se convierte en la parte superior de la reflectancia de la atmosfera (ρ_λ) para ello se emplea la ecuación (Chader et al, 2010) que se muestra a continuación

$$\rho_\lambda = \frac{\pi \cdot L_\lambda \cdot d^2}{ESUN_\lambda \cdot \cos \theta_s} \quad (1)$$

Donde:

ρ_λ = reflexión atmosférica TOA, adim

π = constante matemática igual 3,14159 adim

L_λ = Radiancia espectral en la abertura del sensor [$W/(m^2 \text{ Sr } \mu m)$]

d = tierra distancia del sol [unidades astronómicas],

$ESUN_\lambda$ = Radiancia solar exoatmosférica media [$W/(m^2 \mu m)$]

θ_s = ángulo cenital solar (grados).

Por otra parte se emplea para el modelado de los parámetros fisicoquímicos en función de la reflectancia en cada banda espectral para así aplicar el procedimiento de regresión múltiple con el cual se establece un modelo de estimación del parámetro de calidad de agua (variable dependiente) a partir del conjunto de las bandas radiométricas (variables independientes). Con las ecuaciones resultantes se podrá estimar los parámetros en cualquier pixel de la imagen. Dicho modelo se expresa como una combinación lineal de los datos radiométricos por los coeficientes de regresión. El cual es diseñado para construir un modelo estadístico que describa el impacto de dos o más factores cuantitativos (Box, 1994). La forma general del modelo es como se muestra a continuación

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k \quad (2)$$

Donde:

k: es el número de variables independientes

Y: parámetros fisicoquímicos

X: representa la reflectancia grabada en cada banda espectral de satélite Landsat 8

En referencia a los parámetros Fisicoquímicos que se utilizaron corresponden al año 2014 con la clasificación de zona UTM ZONE19 y datum WGS84 ,son mostrados en la tabla 1

Tabla 1 Parámetros fisicoquímicos en estaciones de Monitoreo establecidas por el MARN (Agencia de Cuenca del Lago de Valencia)

X	Y	PUNTO	pH	CT	DBO5	DQO	P	N	NO3	NO2	Cl	SO4	ST
623354,61	1117649,5	Cabriales	6,5	570	105	146	2,5	15	0,01	0,02	35	78	416
622017,24	1119809,87	Caño La Negra	7,1	800	60	103	2,8	21	0	0,16	88	74	588
622428,74	1122810,38	Los Guayos	6,8	630	150	291	2,5	21	0,01	0,1	32	48	440
622463,03	1123359,04	Dividive	7,8	1180	30	96	2,4	13	0,07	1,6	57	293	860
623354,61	1124267,77	El Nepe	6,7	640	120	337	2,3	31	0,02	0,13	38	56	554
626029,35	1126599,59	Guacara	6,4	500	150	314	2,9	21	0,04	0,1	29	40	372
632681,90	1131777,6	Ereigue	6,8	550	54	107	2,4	24	0	0,08	23	18	352
633941,16	1120043,49	Guigue	7,3	200	3	23	0,6	1,2	0,02	0,11	8	4	148
634105,00	1133149,26	Mariara	6,8	230	18	61	0,2	8	0,01	0,36	9	2	172
646827,14	1131777,6	Limon	7,1	220	45	73	2,2	14	0,01	0,08	23	24	200
6500067,69	1129805,84	Corpoind	6,8	1040	165	496	3	39	0,04	0,17	19	130	856
651199,31	1129737,26	Guey	6,8	640	330	655	3,2	28	0,05	0,18	23	100	796
652279,49	1129120,01	Papelera	9	810	168	264	1	6	0,03	0,1	23	190	780
652673,84	1128417	Sudantex	6,1	825	120	307	3,2	25	0,06	0,14	29	122	576
652931,03	1128228,43	Maracay	6,5	510	81	157	2,4	21	0,02	0,12	28	38	356
653136,78	1126959,65	Turmero	7	570	84	226	2,8	23	0,04	0,1	120	48	448
651975,39	1124197,3	Aragua	7,1	1020	270	674	3,1	21	0,02	0,11	51	12	1104
651717,39	1120249,89	Caño Aparo	6,7	980	4	19	2,3	3	0,37	0,41	180	62	752
648827,79	1120172,49	Magdaleno	7,3	650	23	35	2,2	15	0,01	0,03	27	44	460
649937,99	1118701,89	Tocoron	7,1	740	13	69	1,7	17	0,07	0,1	53	80	584

Información de data de mediciones o monitoreo de parámetros de calidad de agua que lleva el Ministerio de Ecosocialismo (MINEC) Antiguamente Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y comprende un Estudio integral de los aportes de los tributarios. Todos los parámetros que se monitorean corresponden a los exigidos en la Norma para la Clasificación de las Aguas, Decreto 3219

3era. Etapa Procesamiento de Datos:

- **Objetivo 2:** Aplicar técnicas de corrección de imágenes Satelitales a ser usadas en los Modelos matemáticos

Descargada la imagen seleccionada se le aplica técnicas geo-estadísticas direccionadas a los parámetros que se registran o evalúan en las diferentes estaciones de monitoreo habitual del Lago de Valencia Para ello se inicia con el procesamiento empleando el programa ERDAS IMAGINE 2014 generando así los Stacks para combinar bandas espectrales: 5, 4,3.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este capítulo, está constituido por la presentación de los resultados obtenidos a partir de los instrumentos aplicados en la investigación, consistentes de la correlación de la reflectancia superficial extraída desde imágenes de satélite y los parámetros fisicoquímicos medidos en estaciones de monitoreo sobre el Lago de Valencia, Estado Carabobo.

4.1 Identificación de las imágenes satelitales a ser utilizadas en los modelos matemáticos de parámetros fisicoquímicos de calidad de agua del Lago de Valencia

La imagen de satélite seleccionada corresponde a Landsat 8 OLI identificada según el código LC80040532014021LGN01, adquirida en fecha 2014-01-21 a la hora de captura por el satélite 14:47:34.3065650Z, como se muestra en la Tabla 2

Tabla 2 Características de la imagen de satélite Landsat 8 OLI

1	2	3	4	5	6
LC80040532014021LGN01	2014-01-21	14:47:34.3065650Z	6.64	137.39088382	49.30186705

1: Código de identificación de la escena, 2: Datos - fecha de la imagen, 3: Tiempo de centro de la escena, 4: Cobertura de nubes, 5: Angulo solar azimut, 6: Angulo solar zenith.

En la Figura 1 se muestran las estaciones de monitoreo de parámetros fisicoquímicos ubicadas sobre el Lago de Valencia (LV), Estado Carabobo (EC). Las estaciones de monitoreo se encuentran ubicadas en la desembocadura de los ríos provenientes de los Estados Carabobo y Aragua hacia el Lago de Valencia, siendo un total de 17 estaciones de monitoreo. La imagen de satélite permite observar que

predomina el uso urbano en el norte y una zona cubierta de vegetación en la región sur de LV-EC.

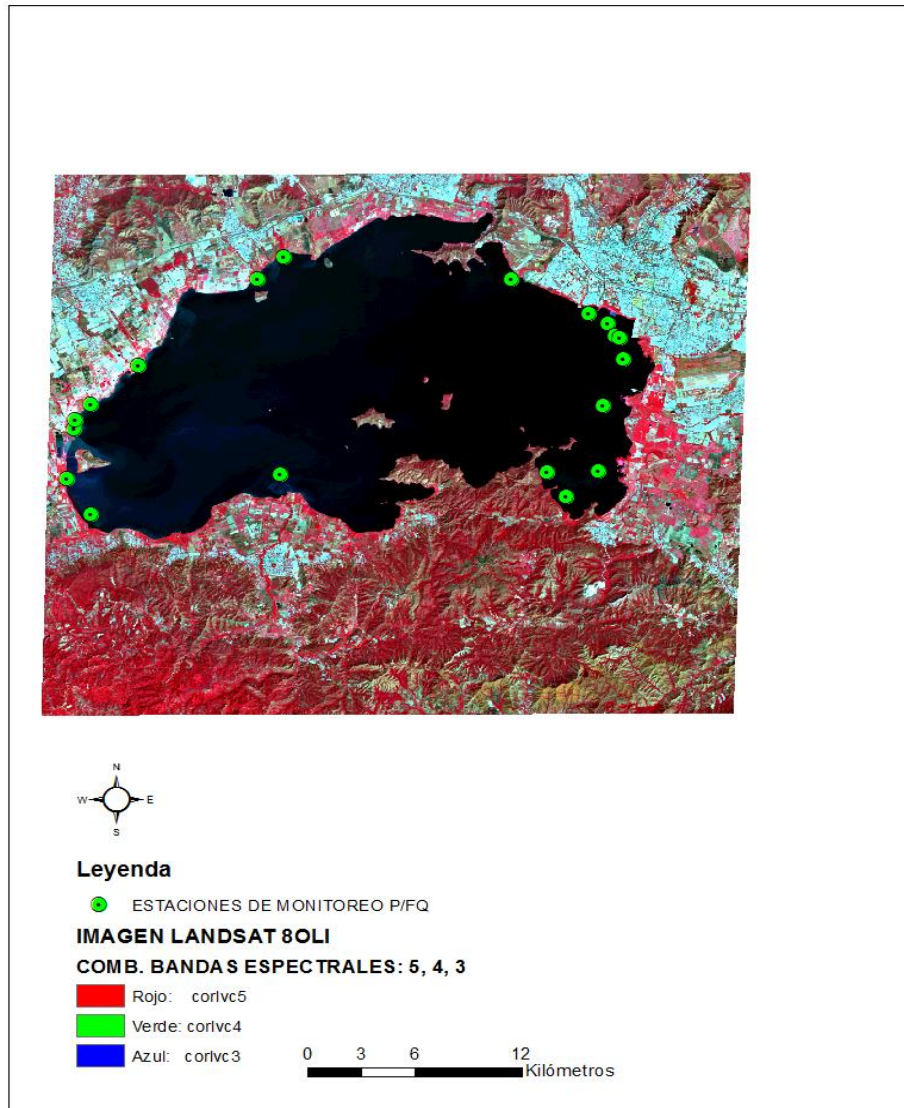


Figura 1 Estaciones de monitoreo de parámetros fisicoquímicos visualizadas sobre una imagen de satélite Landsat 8 presentada en una combinación de bandas espectrales en falso color, 5 -4- 3, en el Lago de Valencia, Estado Carabobo, Venezuela

4.2 Aplicación de técnicas de corrección de imágenes Satelitales a ser usadas en los Modelos matemáticos

La reflectancia espectral obtenida por el detector en la región espectral del infrarrojo cercano del espectro electromagnético es observada en la Figura 3 donde se encuentra que la reflectancia más baja es obtenida desde el LV-EC varía entre 0 y 10%. La reflectancia se incrementa hasta el máximo valor en las zonas agropecuarias ubicadas en interfaz agua – suelo con LV-EC, variando entre 40 y 100%. Así como, la reflectancia espectral varía entre 24 y 32 % en la zona urbana que antecede a la zona agropecuaria de LV-EC.

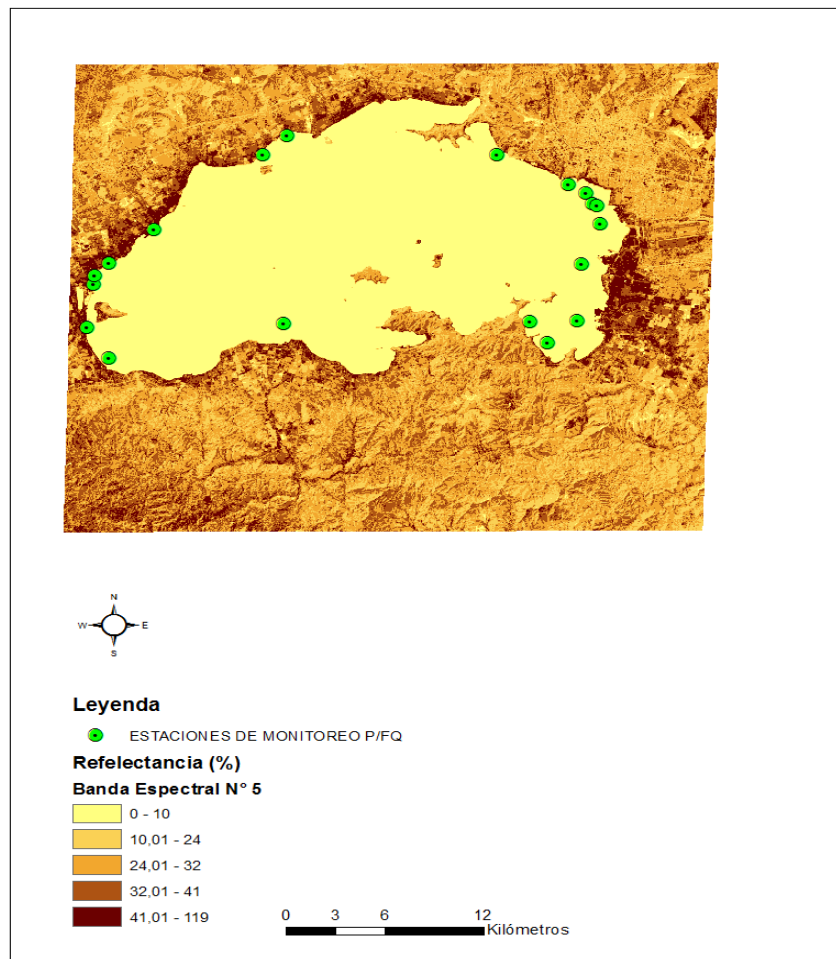


Figura 2 Reflectancia espectral en la banda N° 5 derivada de una imagen de satélite Landsat 8 en el Lago de Valencia, Estado Carabobo, Venezuela

4.3 Descripción de las series temporales de los parámetros fisicoquímicos y biológicos de calidad de agua del Lago de Valencia, Estado Carabobo

Los resultados de los coeficientes de los modelos de parámetros fisicoquímicos y biológicos medidos en el LV se muestran en la Figura 4. Con una frecuencia de ocurrencia entre el 25 y 75 percentil, se encuentra que: el pH es un valor cercano a una condición neutra, tomado un valor de 7. El fósforo total varía entre 2 y 3 mg/l. El nitrógeno total se encuentra entre 10 y 25 mg/l. El nitrato y el nitrito se encuentran en valores inferiores a 1 mg/l, la DBO₅ varía entre 20 y 150 mg/l, la DQO varía entre 50 y 300 mg/l, el sulfato entre 20 y 50 mg/l, el cloruro entre 10 y 20 mg/l, la conductividad entre 500 y 800 mg/l, los sólidos totales entre 200 y 800 mg/l, los coliformes totales entre 0 y 15 millones de NMP/100 ml.

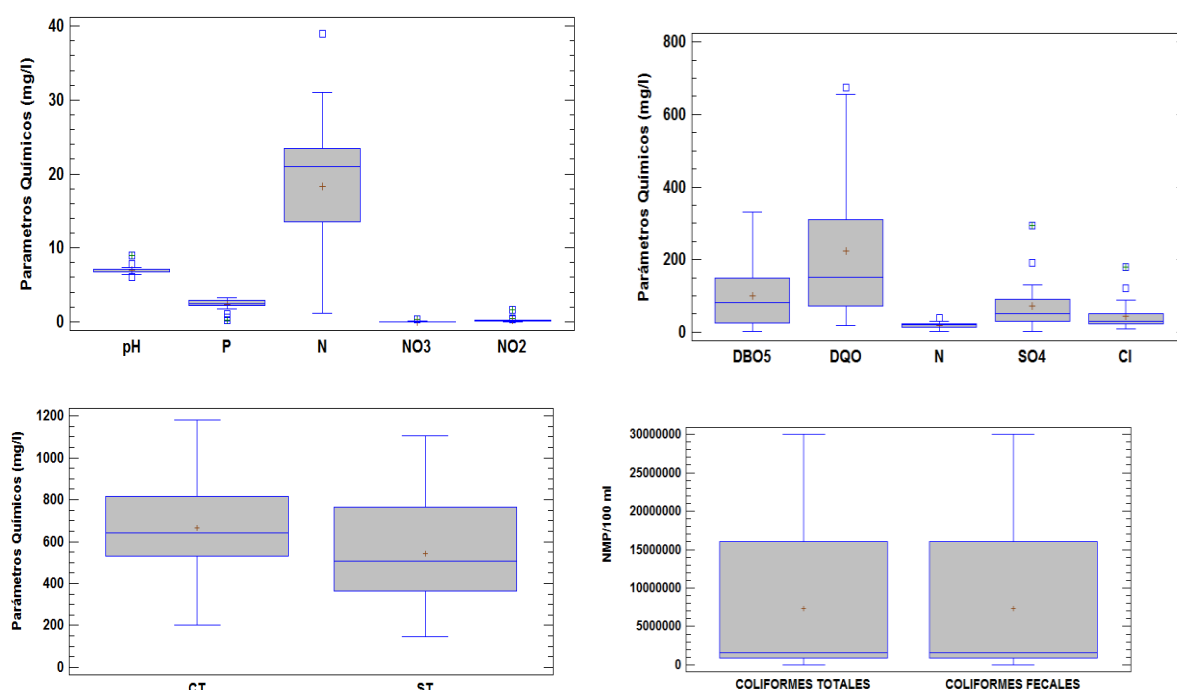


Figura 3 Parámetros fisicoquímicos obtenidos de monitoreo en 18 estaciones de medición ubicadas dentro del Lago de Valencia, Estado Carabobo, Venezuela,

4.3 Estimación de la Reflectancia espectral del agua del Lago de Valencia, Estado Carabobo.

La reflectancia espectral obtenida por el detector en la región espectral del infrarrojo cercano del espectro electromagnético es observada en la Figura 5 donde se encuentra que la reflectancia más baja es obtenida desde el LV-EC variando entre 0 y 10%. La reflectancia se incrementa hasta el máximo valor en las zonas agropecuarias ubicadas en interfaz agua – suelo con LV-EC, variando entre 40 y 70%. Así como, la reflectancia espectral varía entre 24 y 32 % en la zona urbana que antecede a la zona agropecuaria de LV-EC.

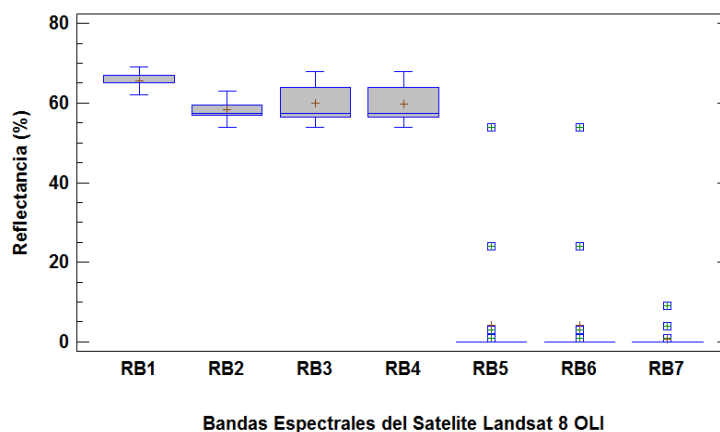


Figura 4. Reflectancia espectral obtenida desde una imagen de satélite Landsat 8 OLI sobre 18 estaciones de medición de parámetros fisicoquímicos ubicadas dentro del Lago de Valencia, Estado Carabobo, Venezuela

4.4 Calibración de Modelos Matemáticos de Parámetros Fisicoquímicos y biológicos de Calidad de Agua del Valencia, utilizando Imágenes Satelitales

Para calibrar los Modelos Matemáticos de parámetros fisicoquímicos se tiene que los coeficientes de dichos modelos están asociados a la variable independiente Reflectancia la cual es medida por el satélite Landsat 8 OLI en siete bandas espectrales en las regiones visibles e infrarrojas. Los coeficientes promedios obtenidos de acuerdo con los parámetros fisicoquímicos y biológicos se describen en la Tabla 3, donde se observa, como una muestra que el pH es estimado mediante una ecuación cuyos coeficientes son indicados en secuencia los siguientes: constante: 14,5155, RB1: -0,742018, RB2: 0,941345, RB3: 1,4624, RB4: 1,23091, RB5: 0,00498202 RB7: 0,0376757

Tabla 3 Modelos de estimación de parámetros fisicoquímicos a partir de imágenes satelitales

PFQ	Ecuación
pH	$pH = 14,5155 - 0,742018*RB1 + 0,941345*RB2 - 1,4624*RB3 + 1,23091*RB4 + 0,00498202*RB5 + 0,0376757*RB7$
CT	$CT = -855,231 + 420,025*RB1 - 655,41*RB2 + 1089,91*RB3 - 888,399*RB4 + 7,84232*RB5 - 138,405*RB7$
DBO ₅	$DBO_5 = -1976,69 + 155,1*RB1 - 193,552*RB2 + 352,884*RB3 - 300,372*RB4 + 7,15749*RB5 - 58,7112*RB7$
DQO	$DQO = -3551,02 + 315,451*RB1 - 392,623*RB2 + 779,184*RB3 - 680,859*RB4 + 11,5202*RB5 - 87,7624*RB7$
P	$P = 11,3349 + 1,04028*RB1 - 2,09329*RB2 + 2,68981*RB3 - 1,945*RB4 - 0,0838382*RB5 + 0,0822881*RB7$
N	$N = 21,9276 + 8,35976*RB1 - 14,2822*RB2 + 29,0692*RB3 - 24,4314*RB4 - 0,246618*RB5 + 0,902947*RB7$
NO ₃	$NO_3 = -0,159394 + 0,0054464*RB1 - 0,000650901*RB2 + 0,0218162*RB3 - 0,0243017*RB4 + 0,00235507*RB5 - 0,0102865*RB7$
NO ₂	$NO_2 = 12,8087 - 0,662448*RB1 + 0,594266*RB2 - 1,15637*RB3 + 1,0922*RB4 - 0,12378*RB5 + 0,706378*RB7$
Cl	$Cl = -12,6556 + 17,0869*RB1 - 30,2215*RB2 + 30,3197*RB3 - 18,8633*RB4 + 3,7312*RB5 - 28,0973*RB7$
SO ₄	$SO_4 = 463,862 + 6,99292*RB1 - 27,1857*RB2 + 60,7497*RB3 - 48,8903*RB4 + 2,32182*RB5 - 19,7767*RB7$
ST	$ST = -363,874 + 470,004*RB1 - 725,448*RB2 + 1135,36*RB3 - 930,45*RB4 + 11,6875*RB5 - 155,095*RB7$
Col. Totales	$COLIFORMES\ TOTALES = -1,76477E8 + 1,0771E7*RB1 - 1,35689E7*RB2 + 2,6914E7*RB3 - 2,24685E7*RB4 + 1,01521E6*RB5 - 9,04956E6*RB7$

PFQ: parámetro fisicoquímico

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. La imagen satelital descargada en el portal earthexplorer del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, resultan gratuitas y accesibles, descargando imágenes de estación seca para evitar presencia de nubosidad sobre el Lago de Valencia
2. La imagen satelital fue corregida aplicando algoritmos de corrección topográfica, geográfica y radiométrica lo que condujo a la transformación de la variable desde número Digital a Reflectancia
3. La reflectancia espectral estimada muestra concordancia con lo esperado ya que resulta más baja en el Lago de Valencia (cuerpo de agua) y se incrementa en la zona urbana siendo el máximo en las zonas agropecuarias
4. Se logra el modelado matemático de parámetros Físicoquímicos y Biológicos claves para el monitoreo en tiempo real de calidad de agua del Lago de Valencia con el procesamiento de imágenes satelitales Landsat 8 OLI y de la obtención de Reflectancia grabada en las bandas espectrales en las regiones visibles e infrarrojas

5.2 RECOMENDACIONES

1. Implementar monitoreo ampliado de Cuerpos de Agua en tiempo real empleando la Teledetección como método de estudio de la calidad ambiental dadas las ventajas que presenta con respecto a los muestreos in situ
2. Concientizar sobre la facilidad en el procesamiento de imágenes y con ello el proceso de vigilancia y control de la calidad de agua del Lago de Valencia se haga sostenible.

3. Promover el uso de productos provenientes de Sensores Remotos para así optimizar en nuestro país las Investigaciones influyentes en Calidad de Agua del Lago de Valencia
4. Se recomienda profundizar en estudios similares de las propiedades espectrales y fenómenos ambientales para el provecho del recurso de Teledetección que son ampliamente ofrecidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Santiago C. Fernández y Antonio Q. Rodenas. (1999). “Técnicas de Teledetección aplicadas al estudio de los ríos Tinto y Odiel”. Albacete, España.
- Oscar E. Rodríguez y Harlod Arredondo (2005). “Manual para el manejo y procesamiento de imágenes satelitales obtenidas del sensor remoto modis de la nasa, aplicado en estudios de ingeniería civil”. (Trabajo de grado) Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C, Colombia.
- Esther P. Urrego. (2016). “Estimación de parámetros de calidad del agua del Lago de Maracaibo a partir de imágenes del satélite venezolano Miranda (VRSS-1)”. (Trabajo de fin de Master). Universidad de Valencia. Valencia, España.
- Pedro Pacheco. (2008). “Análisis estadístico de datos de contaminación ambiental del Lago de Valencia”. (Trabajo de Grado) Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Salomón M. Aranda y Lara F. Fornos. (2009). “Modelo para la predicción de parámetros de calidad del agua del Lago de Valencia utilizando imágenes de satélite”. España.
- Adriana Márquez R., Edilberto Guevara P. y Demetrio Ley Lago (2019) “Modeling of Physico-Chemical and Biological Parameters of Pao Cachince water reservoir, Venezuela, using the Surface Reflectance from Landsat Satellite Images”. University of Carabobo, Venezuela.