



Análisis de correlación de arsénico total (Ast) y temperatura en aguas termales para uso recreacional en el DMQ mediante imágenes térmicas.

Pedraza Oña, Pablo Steven

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Geógrafo y del Medio Ambiente

Ing. Kirby Powney, Eduardo Patricio Msc.

10 septiembre del 2020



Document Information

Analyzed document TESIS _PEDRAZA OÑA_PABLO STEVEN.docx (D78570792)
Submitted 9/3/2020 7:44:00 PM
Submitted by
Submitter email epkirby@espe.edu.ec
Similarity 4%
Analysis address epkirby.espe@analysis.arkund.com

Firma:

EDUARDO PATRICIO KIRBY POWNEY
Firmado digitalmente por EDUARDO PATRICIO KIRBY POWNEY
Fecha: 2020.09.05 10:09:17 -05'00'

Kirby Powney, Eduardo Patricio

C. C.: 0102611811



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**Análisis de correlación de arsénico total (Ast) y temperatura en aguas termales para uso recreacional en el DMQ mediante imágenes térmicas**” fue realizado por el señor **Pedraza Oña, Pablo Steven** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolqui, 05 de septiembre de 2020

Firma:

EDUARDO
PATRICIO KIRBY
POWNEY

Firmado digitalmente
por EDUARDO PATRICIO
KIRBY POWNEY
Fecha: 2020.09.05
10:09:17 -05'00'

Kirby Powney, Eduardo Patricio

C. C.: 0102611811



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Pedraza Oña, Pablo Steven**, con cédula de ciudadanía n°1721055430, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Análisis de correlación de arsénico total (Ast) y temperatura en aguas termales para uso recreacional en el DMQ mediante imágenes térmicas**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 10 de septiembre de 2020

Pedraza Oña, Pablo Steven

C.C.: 1721055430



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo **Pedraza Oña, Pablo Steven**, con cédula de ciudadanía n°1721055430, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Análisis de correlación de arsénico total (Ast) y temperatura en aguas termales para uso recreacional en el DMQ mediante imágenes térmicas** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 10 de septiembre de 2020

Pedraza Oña, Pablo Steven

C.C.: 1721055430

Dedicatoria

El presente trabajo lo dedico con todo el amor del mundo a mis padres, Segundo Pedraza y Paula Oña, quienes me han motivado día a día a ser mejor, tanto en el ámbito profesional como en lo personal, brindándome consejos, dándome fuerza, llenándome de mucho cariño y amor, siempre inculcándome valores y apoyándome para seguir adelante con mis sueños; gracias por todo el esfuerzo que han hecho para brindarme los estudios y llegar a ser un profesional, espero algún día poder recompensar todo el sacrificio que hacen por mí.

A mi hermana Verónica por ser una guía y ejemplo a seguir para ser una excelente persona y un mejor profesional; es ella quien desde pequeño me ha enseñado un sin número de cosas valiosas y quien siempre ha estado al pendiente; se ha convertido en mi amiga y me brindado su apoyo incondicional en muchísimas cosas, gracias por estar siempre para mí y espero poder compartir contigo momentos de alegría.

A una de las personas más importantes para mi quien fue mi abuelita, hoy no estás aquí conmigo para poder brindarte esta alegría, pero desde el cielo sé que me estas bendiciendo mucho y estas sintiéndote muy orgullosa de mí; mi mamita quiero decirte que gracias a ti y a todo tu amor que me brindaste desde pequeño estoy consiguiendo esto, así que quiero decirte que lo logramos..!!

A toda mi familia y amigos quienes fueron parte de todo este proceso y estuvieron al pendiente de mí siendo ese empuje y motivación que toda persona necesita.

Agradecimientos

A mi director de tesis, Ing. Eduardo Kirby Mgs, por brindarme toda la ayuda para culminar este proyecto; unas gracias no es suficiente después de todo el apoyo que me brindó en este proceso; con su paciencia, orientación y tiempo se llegó al objetivo de culminar con éxito este proceso.

A la Química Erika Murgueitio Ph. D., por colaborar con su conocimiento para el desarrollo del proyecto y también por la ayuda brindada con el préstamo de equipos.

Al CBDMQ quienes fueron pieza clave en la realización del proyecto, brindándonos la ayuda con los vuelos.

Un agradecimiento muy especial a mi amiga Adri quien durante todo el proceso estuvo al pendiente, dándome ánimos y palabras de aliento, haciendo más llevadero todo este proceso.

A mi gordi quien es una persona muy importante en mi vida, siendo parte desde el inicio del proyecto y es una de las personas que me motiva a ser mejor.

A mis otras gordis Kary y Krups quienes han sido unas personas muy importantes para mí, brindándome su amistad, apoyo y confianza llegándose a convertir en unas amigas muy importantes para mí; también agradecer a mis otros amig@s Alex, Daniel, Andre, Pato, Jose, Verito, Alejita, Andre y quienes me faltan por nombrar, gracias por hacer de la vida universitaria una época inolvidable.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Urkund	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimientos	7
Resumen	15
Abstract	16
Capítulo I	17
Aspectos Generales	17
Introducción	17
Planteamiento del problema	20
Justificación e importancia	21
Área de Influencia	22
Objetivos	23
<i>Objetivo General</i>	23
<i>Objetivos Específicos</i>	23
Capítulo II	25
Marco Teórico	25
Fundamentos de teledetección	25
Espectro electromagnético	26
Resolución	27
<i>Resolución espacial o Geométrica</i>	27
<i>Resolución espectral</i>	28
<i>Resolución radiométrica</i>	28
<i>Resolución temporal</i>	29
Plataformas y sensores	29
Imágenes Satelitales	30
<i>Sensores Pancromaticos</i>	31
<i>Sensores multiespectrales</i>	31

<i>Sensores térmicos</i>	32
Programa Landsat	32
<i>Landsat 8</i>	33
Distorsiones y/o afectaciones en las imágenes satelitales	35
Corrección de imágenes satelitales	35
<i>Corrección geométrica</i>	36
<i>Corrección radiométrica</i>	36
Cálculo de temperatura brillo	38
Software de procesamiento	39
Relación de la Teledetección con el Medio Ambiente	40
Aguas termales	40
Piscinas temperadas y termales	41
<i>Piscinas temperadas</i>	41
<i>Piscinas termales</i>	41
Parámetros físico – químicos	41
<i>Temperatura</i>	41
<i>Arsénico</i>	42
<i>pH</i>	44
<i>Conductividad</i>	44
<i>Oxígeno disuelto</i>	44
Equipo Multiparametro HQ30d	45
Vehículo aéreo no tripulado (UAV)	46
<i>Clasificación de los UAV</i>	46
<i>UAV con ala rotatoria</i>	47
<i>DJI Matrice 600 Pro</i>	48
Cámara Zenmuse XT2	49
Plan de vuelo	51
<i>DJI PILOT</i>	51
Software fotogramétrico para UAV	51
<i>Índice de temperatura</i>	52
Termografía UAV	53
Puntos de control terrestre	54

	10
Estadística	55
<i>Coeficiente de correlación de Pearson</i>	55
<i>Software de investigación</i>	56
Capítulo III	57
Metodología	57
Generalidades	57
Descarga de imágenes satelitales	58
Correcciones en la imagen satelital	59
<i>Corrección geométrica de la imagen satelital</i>	59
<i>Corrección radiométrica de la imagen satelital</i>	60
Cálculo de temperatura de brillo	61
Vuelos de prueba para la generación de ortomosaicos térmicos	63
Recopilación y procesamiento de la información geoespacial	64
<i>Plan de vuelo</i>	64
<i>Captura de imágenes térmicas</i>	65
<i>Toma y postproceso de puntos de control fotogramétrico (GCP)</i>	66
<i>Procesamiento de imágenes térmicas</i>	67
<i>Cálculo de los valores de Temperatura asociados a las muestras in situ</i>	68
Análisis Ambiental	69
<i>Recolección de las muestras</i>	69
<i>Medición de los parámetros físico químicos in situ</i>	70
<i>Análisis de arsénico</i>	72
Análisis Estadístico	74
<i>Recopilación y generación de una base de datos</i>	74
<i>Análisis exploratorio de datos</i>	74
<i>Correlación de Pearson</i>	75
Capítulo IV	77
Resultados	77
Resultado de la corrección radiométrica de las bandas multiespectrales ópticas	77
Resultado de la radiancia en la banda térmica y cálculo de temperatura de brillo	78

<i>Resultado de la comparación entre temperatura de la banda térmica vs isothermas</i>	79
Resultados ortomosaicos térmicos de prueba	80
Resultados relacionados con las imágenes UAV y GNSS	82
<i>Resultados del procesamiento de los puntos de apoyo fotogramétrico</i>	82
<i>Resultados de los ortomosaicos</i>	82
<i>Resultado de los valores del ortomosaico de temperaturas en los puntos de muestreo</i>	85
Resultados del análisis ambiental	87
<i>Resultados parámetros “in situ”</i>	87
<i>Concentración de arsénico</i>	90
Resultados del análisis estadístico	92
<i>Resultados de los análisis exploratorios</i>	93
<i>Resultados Diagramas de dispersión</i>	96
<i>Resultados de las correlaciones</i>	97
Capitulo V	100
Conclusiones y Recomendaciones	100
Conclusiones	100
Recomendaciones	102
Capitulo VI	104
Bibliografía	104
Anexos	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Fuentes termominerales de la provincia de Pichincha</i>	22
Tabla 2 <i>Características de los satélites serie Landsat</i>	33
Tabla 3 <i>Características Ladsat 8</i>	34
Tabla 4. <i>Acuerdo Ministerial 097-A de Arsénico Total</i>	44
Tabla 5. <i>Especificaciones del Multiparametro HQ30d</i>	45
Tabla 6. <i>Especificaciones UAV Matrice 600 PRO</i>	48
Tabla 7. <i>Características de la cámara Zenmuse XT2</i>	50
Tabla 8. <i>Tipos de correlación</i>	55
Tabla 9. <i>Variaciones de traslapo</i>	64
Tabla 10. <i>Parámetros del vuelo con UAV</i>	65
Tabla 11. <i>Coordenadas de los puntos de apoyo fotogramétrico y sus precisiones</i>	82
Tabla 12. <i>Valores de Tº en los puntos de muestreo obtenidos de los mapas de Reflectancia</i>	86
Tabla 13. <i>Parámetros "in situ" Complejo Ilaló</i>	87
Tabla 14. <i>Parámetros "in situ" Complejo Rumiloma</i>	88
Tabla 15. <i>Parámetros "in situ" Complejo El Tingo</i>	88
Tabla 16. <i>Concentración de As - Complejo Ilaló</i>	90
Tabla 17. <i>Concentración de As - Complejo Rumiloma</i>	91
Tabla 18. <i>Concentración de As – Complejo El Tingo</i>	91
Tabla 19. <i>Conjunto de datos para el análisis</i>	92
Tabla 20. <i>Resumen estadístico Tº dron</i>	93
Tabla 21. <i>Resumen estadístico Tº sonda</i>	94
Tabla 22. <i>Resumen estadístico Diferencia de Tº</i>	95
Tabla 23. <i>Resumen estadístico Arsénico</i>	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Complejo Recreacional Chachimbiro – Río Cachiyacu</i>	18
Figura 2. <i>Ubicación zona de muestreo</i>	23
Figura 3. <i>Componentes teledetección</i>	26
Figura 4. <i>Espectro electromagnético</i>	26
Figura 5. <i>Nivel de detalle, resolución espacial</i>	27
Figura 6. <i>Resolución espectral</i>	28
Figura 7. <i>Resolución radiométrica</i>	29
Figura 8. <i>Resolución Temporal</i>	29
Figura 9. <i>Sensor multiespectral de cuatro bandas</i>	31
Figura 10. <i>Bandas Landsat 8</i>	35
Figura 11. <i>Bandas térmicas constantes de calibración</i>	39
Figura 12. <i>Clasificación de UAVs según el tipo de aeronave</i>	47
Figura 13. <i>Matrice 600 PRO</i>	48
Figura 14. <i>Cámara Zenmuse XT2</i>	49
Figura 15. <i>Mapa de Reflectancia</i>	52
Figura 16. <i>Imagen obtenida a través de una cámara termográfica en un drone</i>	53
Figura 17. <i>Metodología general del proyecto</i>	58
Figura 18. <i>Metadatos imagen Landsat</i>	60
Figura 19. <i>Modelo para el cálculo de radiancia</i>	61
Figura 20. <i>Modelo para el cálculo de Temperatura de brillo</i>	62
Figura 21. <i>Dron de ala fija eBee SenseFly</i>	63
Figura 22. <i>UAV DJI Matrice 600 Pro</i>	65
Figura 23. <i>Despegue del UAV</i>	65
Figura 24. <i>Toma GCP</i>	66

Figura 25. <i>Módulo Thermal Camera en Pix4D</i>	68
Figura 26. <i>Toma de la muestra déjenlos</i>	70
Figura 27. <i>Tratamiento de muestras de arsénico</i>	72
Figura 28. <i>Equipo de espectroscopia de absorción atómica</i>	73
Figura 29. <i>Lecturas de arsénico</i>	73
Figura 30. <i>Coeficiente de correlación de Pearson en RStudio</i>	76
Figura 31. <i>Resultados de la Corrección Radiométrica de la Banda 1</i>	77
Figura 32. <i>Resultado del Cálculo de Temperatura Banda 10</i>	78
Figura 33. <i>Resultado de la Comparación Imagen Satelital y Mapa de Isotermas</i>	79
Figura 34. <i>Ortomosaico con traslapo 70%-70%</i>	80
Figura 35. <i>Ortomosaico con traslapo 80%-80%</i>	81
Figura 36. <i>Ortomosaico con traslapo 90%-90%</i>	81
Figura 37. <i>Mapa de Temperaturas "Complejo El Tingo"</i>	83
Figura 38. <i>Mapa de Temperaturas "Complejo Ilalo"</i>	84
Figura 39. <i>Mapa de Temperaturas "Complejo Rumiloma"</i>	85
Figura 40. <i>Diagrama de dispersión T° sonda – T° dron</i>	96
Figura 41. <i>Diagrama de dispersión T° dron - Arsénico</i>	97
Figura 42. <i>Resultado de la Correlación de Pearson T° sonda – T° dron</i>	98
Figura 43. <i>Resultado de la Correlación de Pearson T° dron – Arsénico</i>	99

Resumen

El objetivo del estudio es encontrar la correlación entre los valores de arsénico total en aguas termales y los valores de temperatura obtenidos por sensores térmicos; para llevar a cabo el proyecto, se realizó pruebas de vuelo con el dron Matrice 600 Pro con la finalidad de obtener los parámetros necesarios para la generación de ortomosaicos térmicos; establecidos los parámetros, se procedió a la captura de imágenes con UAV, a la par se efectuó muestreos y la determinación de parámetros físico – químicos “in situ” en las zonas de estudio donde se destaca el valor de temperatura. Posteriormente, se realizó: el procesamiento de imágenes térmicas obtenidas con UAV; cálculo de temperatura en imágenes satelitales; y determinación de las concentraciones de arsénico en las muestras de aguas. Los resultados conseguidos fueron: ortomosaicos térmicos y los valores de temperatura en los puntos de muestreo; una imagen en valores de temperatura; y la concentración de arsénico en los puntos de muestreo. La imagen satelital en valores de temperatura se comparó con un mapa de isotermas para hallar la relación de temperaturas; se realizó dos análisis de correlación, el primero entre los datos de temperatura del ortomosaico térmico y el valor medido “in situ” obteniendo un coeficiente de correlación R^2 de 0.91; y el segundo análisis de correlación entre la cantidad de arsénico con los valores de temperatura del ortomosaico térmico obteniendo un R^2 de 0.70, con lo cual, vemos que existe una clara relación entre estas dos variables.

Palabras clave:

- **TEMPERATURA**
- **ARSÉNICO**
- **IMÁGENES TÉRMICAS**
- **CORRELACIÓN**

Abstract

The objective of the study is find the correlation between the total arsenic values in hot springs and the temperature values obtained by thermal sensors; to carry out the project, flight tests were carried out with the Matrice 600 Pro drone in order to obtain the necessary parameters for the generation of thermal orthomosaics; Once the parameters were established, images were captured with UAV, at the same time sampling and the determination of physical-chemical parameters "in situ" in the study areas where the temperature value stands out. Subsequently, it was carried out: the processing of thermal images obtained with UAV; calculation of temperature in satellite images; and determination of arsenic concentrations in water samples. The results obtained were: thermal orthomosaics and the temperature values at the sampling points; an image in temperature values; and the arsenic concentration at the sampling points. The satellite image in temperature values was compared with an isotherm map to find the temperature relationship; Two correlation analyzes were performed, the first one between the temperature data of the thermal orthomosaic and the value measured "in situ" obtaining an R2 of 0.91; and the second correlation analysis between the amount of arsenic with the temperature values of the thermal orthomosaic obtaining an R2 of 0.70, with which we see that there is a clear relationship between these two variables.

Keywords:

- **TEMPERATURE**
- **ARSENIC**
- **THERMAL IMAGES**
- **CORRELATION**

Capítulo I

Aspectos Generales

Introducción

El arsénico es un elemento presente en la atmósfera, suelo e hidrósfera que se puede movilizar por procesos naturales como: emisiones volcánicas y actividades humanas por ejemplo la minería. Este es un elemento tóxico para el ser humano, el cual puede tener efectos negativos en altas concentraciones y en bajas concentraciones cuando se expone por un largo periodo de tiempo produciendo enfermedades desde dermatitis hasta cáncer. (Lillo, 2008) Las principales vías de entrada del arsénico al cuerpo pueden ocurrir por ingestión, inhalación y contacto con la piel; si bien es menor la absorción dérmica, esta también ocurre. (Gehle et al., 2009)

Se puede encontrar arsénico (AsT) de forma natural principalmente en rocas volcánicas, rocas sedimentarias marinas y depósitos naturales hidrotermales. Las concentraciones más altas para América se han localizado en países como: Argentina, Chile, México y Estados Unidos. En Sudamérica también existen concentraciones de arsénico en el agua, principalmente, por la presencia de vulcanismo de la cordillera de los Andes, lo que hace que en varios países tengan sus concentraciones por sobre los límites y el Ecuador no es una excepción, ya que se han encontrado altas concentraciones de arsénico en aguas superficiales, subterráneas y geotermales. (Bundschuh et al., 2008)

En la provincia de Imbabura-parroquia de Urcuquí se puede encontrar que los balnearios de Chachimbiro y Timbuyacu son ejemplos de lo aseverado anteriormente. Según Rodríguez & Vallejo (2007) las aguas geotermales del balneario Chachimbiro presenta una concentración de AsT entre 926 ppb - 185 ppb las mismas que

desembocan en el río Cachiyacu (Figura 1), donde los moradores utilizan el agua como fuente de regadíos (80%), ya que la zona está en su mayoría destinada a la agricultura. De acuerdo a Guerra & León (2016) indican que este balneario “genera impactos negativos en el medio físico, biótico y socioeconómico producto de las descargas de aguas residuales al cauce del río Cachiyacu y la producción de desechos sólidos y líquidos que provienen de los servicios varios y las piscinas de aguas termales”.

Figura 1.

Complejo Recreacional Chachimbiro – Río Cachiyacu



Nota: Recuperado de Ecuador Termas de Chachimbiro- 2016.

En la provincia de Pichincha las termas localizadas alrededor del volcán Illaló que arrojan sus aguas al río San Pedro y el agua del balneario de la Merced de Nono que termina en el río Pichan, posee una concentración de As 272 ppb. (Rodríguez & Vallejo, 2007)

Vizcaíno (2009) en su tesis “Determinación de los contenidos de arsénico en aguas superficiales, sedimentos y suelos del valle de los Chillos” del año 2009 concluye que “la concentración de As Total promedio en aguas superficiales es 1,09 $\mu\text{g/L}$ y las concentraciones más altas de As Total en aguas superficiales, sedimentos y suelos están presentes en el río San Pedro, porque reciben el influjo de las aguas geotermales del Tingo”; además, establece que la acumulación de materia orgánica producto de vertidos urbanos influye en el incremento de las concentraciones de As sobre todo en la zona del Camal de Sangolquí. Esto da a entender que una de las causas de altas concentraciones de arsénico además de las fuentes geotermales puede ser los vertidos urbanos

Según Murgueitio & Cumbal (2015) en su publicación “Desarrollo de una tecnología para la recuperación de las aguas de la laguna de Papallacta contaminadas con arsénico y metales pesados usando materiales sorbentes emergentes”; establece que en la cuenca del río Papallacta “La mayor concentración de arsénico fue encontrada en la parte alta del río Tambo a consecuencia de los pequeños manantiales de agua termal que llegan a su curso, en el río Sucus en cambio los contenidos de arsénico son bajos por la ausencia de manantiales termales.” De aquí se puede observar una relación directa entre las concentraciones de arsénico y las fuentes termales de la zona.

Rodríguez & Vallejo en su tema referente a “Distribución, especiación y movilización del arsénico en las aguas geotermales de la zona centro-norte de los andes ecuatorianos” del año 2007 explican que: el 30% de las aguas geotermales de la zona centro norte del Ecuador tienen concentraciones de arsénico por encima de los 50 $\mu\text{g/L}$, sobrepasando el límite permisible. Al ser estas aguas de uso recreacional

plantean una posible problemática para la salud de las personas. (Rodríguez & Vallejo, 2007)

Planteamiento del problema

En el estudio del río Papallacta realizado por Murgueitio & Cumbal (2015), descrito en los antecedentes de este perfil, se menciona: la existencia de una relación entre las concentraciones de arsénico y fuentes termales; además, se debe tener en cuenta que el arsénico sobre los límites permisibles afecta la salud humana, por lo que es necesario tomar especial atención en donde desembocan estas fuentes, ya que pueden aumentar la concentración de arsénico en ríos cercanos y afectar otros usos como el riego de cultivos, etc. Por tanto, el muestreo del Arsénico y de las variables físico químicas, la logística hacia las zonas de estudio, los permisos para el ingreso hacia las piscinas recreacionales, etc., implican un elevado costo y tiempo, principalmente, en conocer si hay o no posibles afectaciones y/o efectos directos o indirectos de este elemento y su relación con la temperatura.

Hoy en día existen sensores que miden la energía calórica o sensores térmicos en plataformas satelitales y en aviones no tripulados; en ese sentido, el uso de las nuevas tecnologías de la información geoespacial, pueden minimizar costos como el tiempo de observación de objetos y variables físicas como la mencionada temperatura; además, facilitarían la identificación de los centros turísticos públicos y privados de fuentes termales, debido a su visión global (satélites) y alta resolución espacial (aviones no tripulados). En tal virtud, con la presente investigación, se propone el uso de tecnologías alternativas, que miden la energía calórica y a través de su cálculo se pretende analizar si existe correlación con la concentración de arsénico, a fin de reducir costos, tiempo, accesibilidad, entre otros, y brindar a los investigadores en general y

estudiantes de la Carrera alternativas a la problemática del arsénico en aguas termales, así como los usos de las nuevas tecnologías geoespaciales.

Justificación e importancia

En el Ecuador desde hace 10 años, no ha existido una actualización de datos de concentración de arsénico de aguas geotermales con fines de uso recreacional, solo el publicado por Cumbal et al., (2008), y otras tesis que se ha mencionado en antecedentes. El problema de contaminación con arsénico en aguas naturales ha sido un tema ampliamente tratado durante los últimos años, ya que el mismo causa efectos perjudiciales en la salud de las personas. De igual manera, se ha determinado que el Ecuador posee concentraciones elevadas de arsénico en aguas subterráneas, superficiales y geotermales (10 µg/L) que exceden el límite permisible, en su mayoría estas aguas son de origen geoquímica las mismas que son utilizadas como fuente de riego. (Bundschuh et al., 2008)

En el plan Nacional de Desarrollo (2017-2021) el objetivo 1, política 1.17 garantiza la protección de las fuentes de aguas, disponibilidad y calidad para el consumo, saneamiento y sistemas integrales de riego, por lo cual es de consideración verificar si cumple con la norma.

El proyecto servirá como una base de información de arsénico total en aguas geotermales del DMQ; a su vez plantea relacionar la temperatura con el contenido de arsénico mediante un análisis de correlación, para así trabajar en conjunto, con la finalidad de optimizar tiempo y recursos en donde las concentraciones de arsénico sobrepasen los límites permisibles.

En este proyecto se plantea el uso de sensores remotos (imágenes satelitales y aviones no tripulados) ya que es muy importante para las líneas de investigación la aplicación de nuevas tecnologías como un apoyo a la parte ambiental.

Al correlacionar las variables de temperatura y arsénico total se obtendrán resultados preliminares los mismos que servirán como base para futuras investigaciones del tema tanto en la parte ambiental como en las tecnologías geoespaciales.

Área de Influencia

El proyecto se plantea trabajar en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), en al menos 5 piscinas de uso recreacional con alturas inferiores a los 3000msnm con imágenes térmicas de cámaras en aviones no tripulados e imágenes satelitales, en caso de que las alturas sean superiores solamente con imágenes satelitales; el muestreo en la zona de estudio será puntual (en el ojo de agua) y/o centro de la piscina; a continuación, en la Tabla 1 y Figura 2 se ilustran las piscinas que serán muestreadas.

Tabla 1.

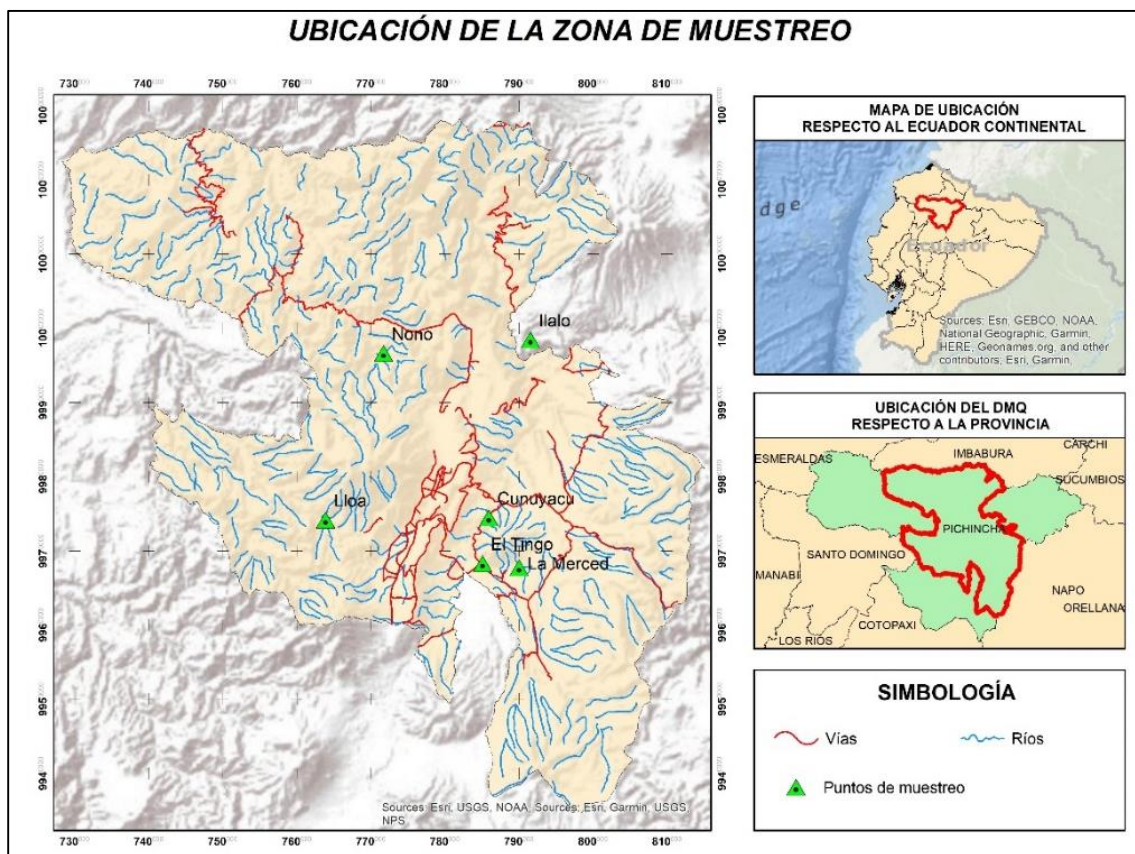
Fuentes termominerales de la provincia de Pichincha

No	FECHA	LOCALIDAD	H. TOPOGR	ESTE (UTM)	NORTE (UTM)	COTA (m.s.n.m)	USO	TIPO
84	11/26/2012	San Antonio de Pichincha 1	El Quinche	784832	9998676	2360	Recreación	V. Hipotermal
85	11/26/2012	San Antonio de Pichincha 2	El Quinche	784876	9998630	2353	Recreación	V. Hipotermal
86	11/26/2012	Pululagua	Calacalí	777391	9992843	2105	Recreación	V. Hipotermal
87	11/26/2012	Calacalí 1	Nono	773604	9998625	2638	Recreación	V. Hipotermal
88	11/26/2012	Calacalí 2	Nono	771697	9996642	2579	Recreación	V. Termal
95	11/28/2012	Lloa (Comp. Urauco)	Quito	763891	9974167	2773	Recreación	V. Termal
97	11/30/2012	La Merced	Sangolquí	790011	9967713	2595	Recreación	V. Termal
98	11/30/2012	El Tingó 1	Sangolquí	785065	9968295	2470	Recreación	V. Hipotermal
99	11/30/2012	El Tingó 2	Sangolquí	785065	9968295	2470	Recreación	V. Hipotermal
100	11/28/2012	Lloa (Comp. Urauco)	Quito	763891	9974167	2773	Recreación	V. Termal
102	4/29/2013	Machachi	Machachi	773880	9944920	2762	Industrial	V. Hipotermal
103	4/29/2013	Aloag (La Calera)	Amaguaña	772791	9947999	2756	Industrial	V. Termal
104	4/29/2013	Aloag (La Calera)	Amaguaña	772601	9948869	2829	Sin uso	V. Hipotermal
105	4/29/2013	Cunuyacu	Sangolquí	785918	9974452	2280	Recreación	V. Hipotermal
106	4/2/2013	Guangopolo	Sangolquí	783585	9970942	2415	Recreación	V. Termal
107	5/2/2013	Guangopolo	Sangolquí	783678	9970549	2442	Recreación	V. Termal
108	4/2/2013	Angamarca (La Chorrera)	Sangolquí	786304	9966985	2488	Recreación	V. Hipotermal
109	4/2/2013	Ilaló	Sangolquí	791533	9998458	2555	Recreación	V. Termal
118	4/2/2013	San Luis de Guachalá	Cayambe	814358	10001107	2580	Recreación	V. Termal
119	11/30/2013	Ishigto	Cayambe	814932	10000934	2663	Recreación	V. Hipotermal

Nota: Recuperado de (INMHI, 2013) modificado por el autor (2019)

Figura 2.

Ubicación zona de muestreo



Objetivos

Objetivo General

Determinar el contenido de arsénico total en aguas termales y la correlación existente entre este componente y la temperatura obtenida por sensores térmicos con la finalidad de analizar si existe relación entre estas variables en el DMQ.

Objetivos Específicos

- Determinar la concentración de arsénico total y parámetros fisicoquímicos “in situ” (temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, pH); de aguas termales de uso recreacional en el área de estudio

- Planificar y levantar la información de imágenes térmicas con aviones no tripulados con la finalidad de contrastar la información con la temperatura y arsénico.
- Estandarizar y corregir la información térmica de las imágenes satelitales para correlacionar la temperatura calculada con la obtenida con el sensor térmico del vehículo aéreo no tripulado y de las piscinas.
- Analizar la correlación entre las variables arsénico total (AsT) y temperatura con las obtenidas por sensores remotos para determinar si exista una relación entre estos.

Capítulo II

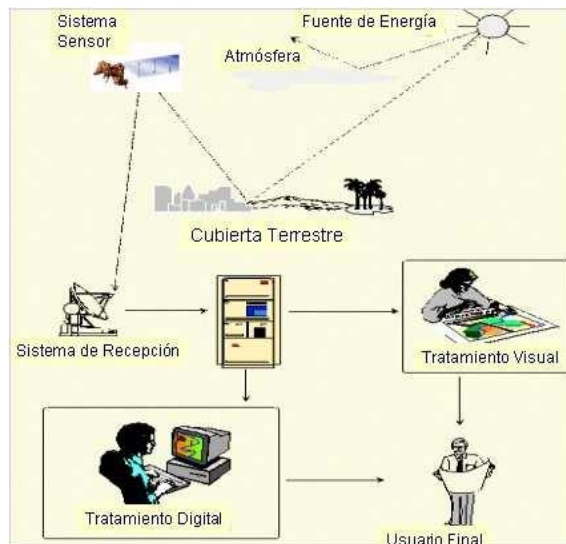
Marco Teórico

Fundamentos de teledetección

El concepto de teledetección en un sentido más extenso, es la medición o adquisición de información de un objeto o fenómeno, por un dispositivo de grabación que no está en contacto físico con el objeto o fenómeno de estudio; a través del análisis de los datos adquiridos podemos efectuar el reconocimiento de las características de los objetos observados y de los fenómenos que se producen tanto en la superficie terrestre, oceánica y/o atmosférica. (Levin, 1999)

Según Chuvieco (1995), la teledetección es la técnica que permite obtener imágenes de la de la superficie terrestre sin estar en contacto físico con esta, para lo cual se emplea el uso de sensores colocados a bordo de plataformas aéreas (helicópteros, aviones, vehículos aéreos no tripulados y espaciales). En los últimos años ha llegado a convertirse en una herramienta indispensable en un sin número de ámbitos de nuestra sociedad.

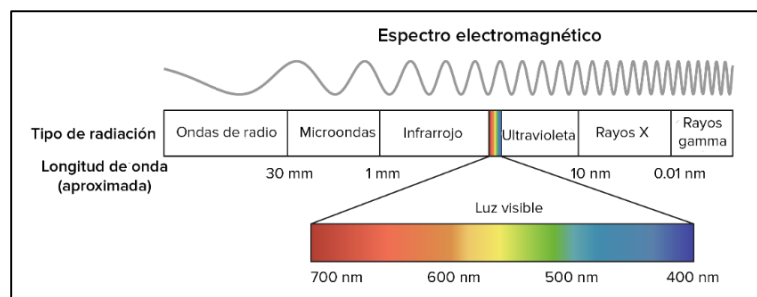
La teledetección es el uso de sensores para medir la radiación electromagnética emitida por la superficie de la tierra y su entorno, mismo que tiene características propias, que dependerá de la longitud de onda en la que el sensor capte radiación ya que la respuesta espectral es diferente para cada elemento de estudio. De esta manera, un sistema de teledetección debe contar con determinados elementos para poder así interpretar los resultados obtenidos, dichos elementos se presentan en la Figura 3.

Figura 3.*Componentes teledetección*

Nota: Recuperado de (Chuvieco, 1995)

Espectro electromagnético

De acuerdo a Sobrino (2000), se la puede definir como cualquier tipo de energía radiante en función de su longitud de onda y de la frecuencia. La figura 4 presenta los diferentes segmentos del espectro electromagnético de acuerdo a la longitud de onda.

Figura 4.*Espectro electromagnético*

Nota: Recuperado de (Khan Academy, 2017)

Resolución

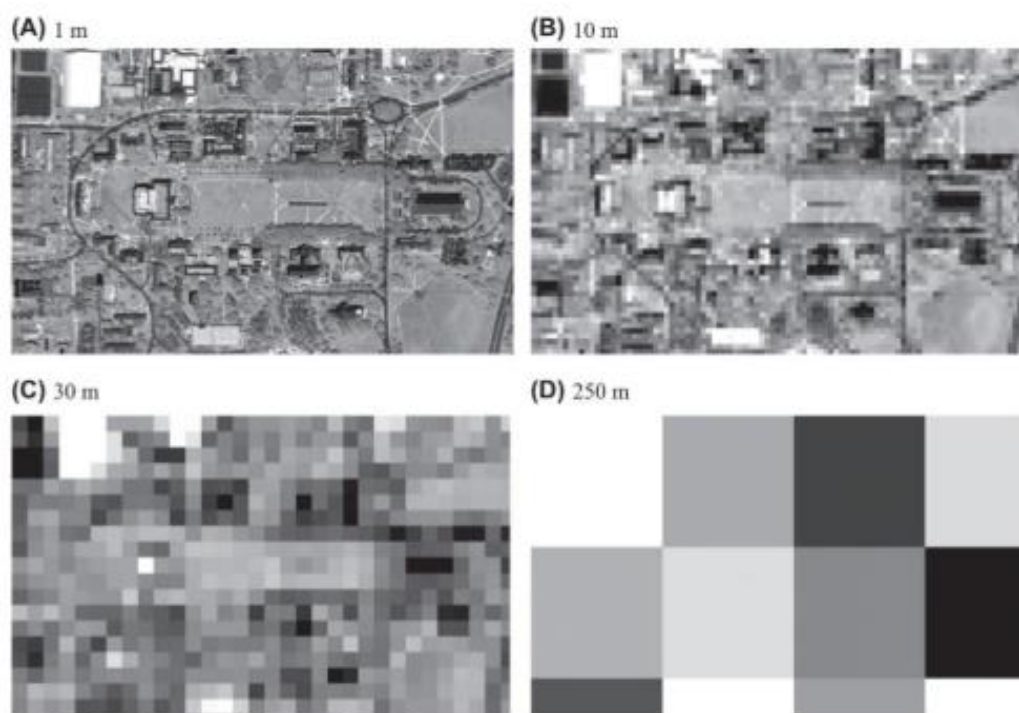
Según Sobrino (2000), es la habilidad o capacidad de un sensor para poder discriminar información acorde al propósito y el entorno; existen cuatro tipos de resoluciones descritas a continuación.

Resolución espacial o Geométrica

Relacionada al poder de resolución; es la capacidad de discriminar el tamaño del objeto más pequeño que puede ser detectado en la imagen; determinada por el tamaño del pixel, está ligada al detalle y el área que cubre cada sensor, es decir, a mayor altura de la plataforma menor resolución espacial y mayor área de estudio abarcada. (Pérez & Muñoz, 2006)

Figura 5.

Nivel de detalle, resolución espacial



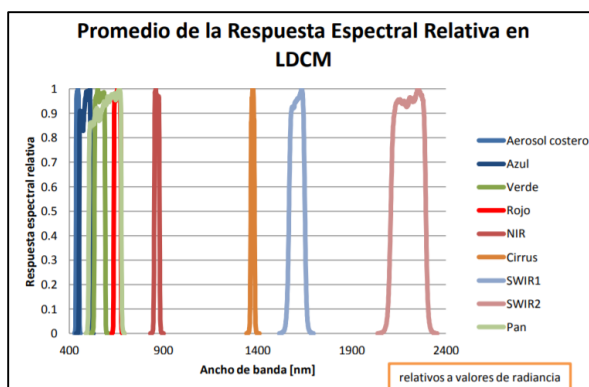
Nota: Recuperado de (Liang & Wang, 2020)

Resolución espectral

Es la capacidad del sensor para detectar elementos con diversas longitudes de onda; indica el número y ancho de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor. Un incremento en el número de bandas permite caracterizar de mejor manera los elementos (Labrador et al., 2012)

Figura 6.

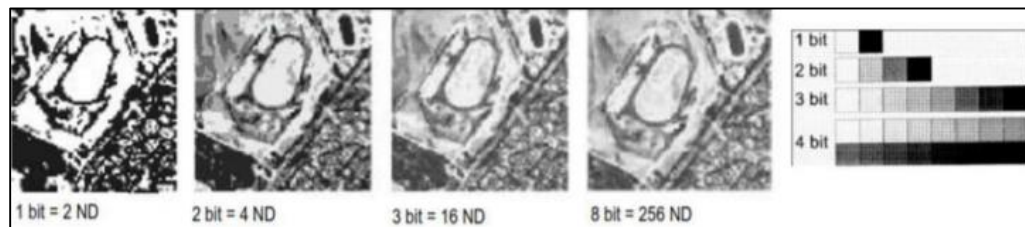
Resolución espectral



Nota: Recuperado de (USGS, 2012)

Resolución radiométrica

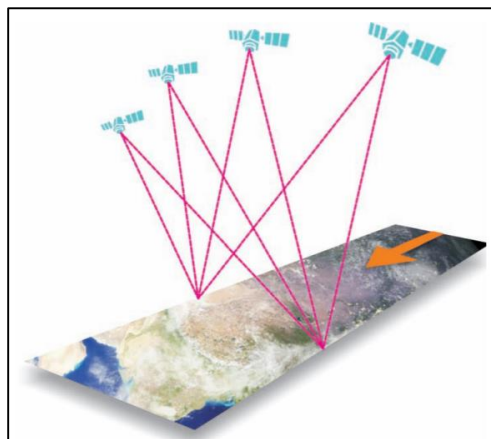
Es la capacidad del sensor para detectar las variaciones de radiancia que recibe; la energía electromagnética captada por el sensor se convierte a nivel digital (ND) y está determinada por el número de bits; por lo tanto, a mayor número de bits existirá una mayor resolución radiométrica del sensor; por ejemplo: en una imagen de 8bits, los ND pueden ir en un rango de 0 a 255 niveles por cada pixel ($2^8=256$ números posibles totales). (Liang & Wang, 2020)

Figura 7.*Resolución radiométrica*

Nota: Recuperado de (Liang & Wang, 2020)

Resolución temporal

Hace referencia a la frecuencia de cobertura, a la capacidad del sensor o la plataforma de poder registrar imágenes de una misma zona en periodos continuos, es decir, que exista revisita. (Levin, 1999)

Figura 8.*Resolución Temporal*

Nota: Recuperado de (Labrador et al., 2012)

Plataformas y sensores

Según Labrador et al. (2012), los satélites son vehículos que recorren alrededor de la tierra transportando un sensor; por otro lado, el sensor es un dispositivo

electrónico sensible a las longitudes de onda, son utilizados para registrar la energía emitida por la superficie de la tierra. A continuación, se indica una clasificación de las plataformas.

- De acuerdo a su órbita (Castaño et al., 1996):
 - *Geoestacionarias*: Se caracterizan por el periodo orbital, es decir, el tiempo que demora en realizar una órbita alrededor del planeta, que es igual a la velocidad de rotación de la tierra; recolectando información de áreas específicas en la superficie de la tierra.
 - *Heliosincrónicas*: Se desplazan en orbitas ligeramente excéntricas o circulares, no permanecen sobre un punto fijo, por lo cual, cubren áreas del planeta en una temporada y tiempo específico.
- Según Chuvieco (1995), los sensores se clasifican en:
 - *Activos*: Poseen su propia fuente de energía, emiten la energía en dirección al objeto y reciben (detectan) la energía reflejada.
 - *Pasivos*: Reciben la energía emitida por otra fuente y reflejada por los objetos.

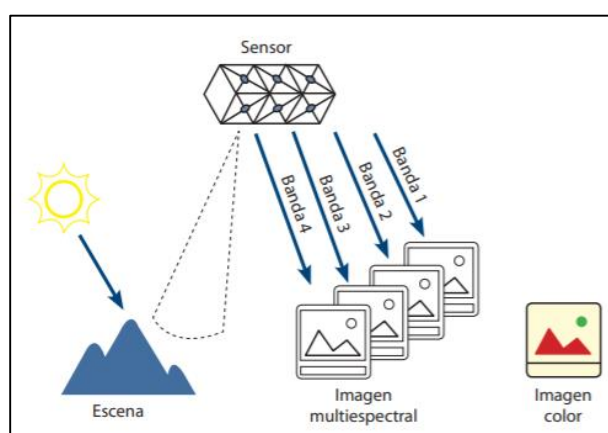
Imágenes Satelitales

De acuerdo a Díaz et al. (2014), las imágenes satelitales se pueden definir como una grabación del espectro electromagnético y la representación visual de los datos captados por un sensor colocado en un satélite artificial. Una imagen satelital está compuesta por un arreglo bidimensional de filas y columnas, en donde su unidad mínima es el pixel. Los pixeles poseen una posición y un nivel digital, obtenidos de la energía reflejada por los objetos en la tierra y captados por el sensor. Las imágenes satelitales están conformadas por bandas que almacenan un determinado rango del

espectro electromagnético, son de gran utilidad para discernir objetos que se encuentran tanto en la superficie como en la atmósfera, mediante una combinación espectral y con el respectivo análisis del objeto de estudio. A continuación, en la Figura 9, se observa un ejemplo de una imagen satelital con diferentes bandas.

Figura 9.

Sensor multiespectral de cuatro bandas



Nota: Recuperado de (F. Díaz et al., 2014)

Sensores Pancromaticos

Este tipo de sensores abarcan una amplia porción del espectro electromagnético, su longitud de onda está en un rango de 450 nm hasta 900 nm; por lo tanto, contiene al espectro visible (de 400 nm a 700 nm). Las imágenes que generan este tipo de sensores se visualizan en una escala de grises, también llamadas monocromáticas. (Díaz et al., 2014)

Sensores multiespectrales

Estos sensores son capaces de dividir el espectro visible en varias bandas con su respectiva longitud de onda; con la combinación de bandas multiespectrales se

puede generar imágenes con distintas composiciones de color que se utilizarán para determinados análisis. (Martínez & Díaz, 2005)

Sensores térmicos

Los sensores térmicos emplean fotodetectores para capturar la energía de radiación térmica emitida por un objeto en la superficie de la tierra. Este tipo de sensores, principalmente, dan información del infrarrojo térmico, y son de gran ayuda para determinar las propiedades térmicas de objetos y la temperatura de la superficie. (Government of Canada, 2015)

Programa Landsat

Los resultados proporcionados por los primeros satélites y las misiones espaciales tripuladas, incentivaron a la NASA a finales de la década de 1960 al diseño, planificación e impulso del primer proyecto dedicado a la observación de los recursos naturales terrestres, producto de esto fue puesto en órbita el primer satélite ERTS (Earth Resources Technological Satellite) el 23 de junio de 1972, posteriormente, llamado LANDSAT (LAND=tierra y SAT=satélite). Landsat se ha convertido en un proyecto fructífero para la teledetección espacial, debido a la alta resolución de datos multiespectrales, información de carácter global y repetitiva. (García, 2000)

Entre las características de Landsat es importante señalar que: está orbitando a una altura de 705Km y en una órbita heliosincrónica (García, 2000). En la Tabla 2 se indican las características de los satélites de la serie Landsat.

Tabla 2*Características de los satélites serie Landsat*

Satélite	Lanzamiento (fin servicio)	Altitud (km)	Periodicidad (días)	Sensor	Banda: intervalo espectral (μm)	Resolución espacial (m)
Landsat 1	23/07/72 06/01/78	917	18	RBV	(1) 0.48 0.57 (2) 0.58 0.68 (3) 0.70 0.83	80 80 80
				MSS	(4) 0.5 0.6 (5) 0.6 0.7 (6) 0.7 0.8 (7) 0.8 1.1	79 79 79 79
Landsat 2	22/01/75 23/02/82	917	18	Idéntico al Landsat 1		
Landsat 3	05/03/78 31/03/83	917	18	RBV	(1) 0.5 0.75	40
				MSS	(4) 0.5 0.6 (5) 0.6 0.7 (6) 0.7 0.8 (7) 0.8 1.1 (8) 10.4 12.6	79 79 79 240
Landsat 4	16/07/82 (83)	705	16	MSS	(4) 0.5 0.6 (5) 0.6 0.7 (6) 0.7 0.8 (7) 0.8 1.1	82 82 82 82
				TM	(1) 0.45 0.52 (2) 0.52 0.60 (3) 0.63 0.69 (4) 0.76 0.9 (5) 1.55 1.75 (6) 10.4 12.5 (7) 2.08 2.35	30 30 30 30 30 120 30
Landsat 5	Idéntico al Landsat 4					
Landsat 6	05/10/93 05/10/93	705	16	Fallos en el sistema		
Landsat 7	15/04/99	705	16	ETM+	(1) 0.45 0.52	30
					(2) 0.53 0.61	30
					(3) 0.63 0.69	30
					(4) 0.78 0.9	30
					(5) 1.55 1.75	30
					(6) 10.4 12.5	120
					(7) 2.09 2.35	30
PAN 0.5 0.90	15					

Nota: En donde; MSS (Multispectral Scanner); RBV (Return Beam Vidicon); TM (Thematic Mapper); ETM (Enhanced Thematic Mapper); Tomado de (García, 2000)

Landsat 8

Según (EOS, 2013) este satélite fue puesto en órbita en febrero de 2013 para continuar con el programa de captura global de datos espaciales; el equipo cuenta con dos sensores: un radiómetro de barrido multicanal "Operation Land Imager (OLI)" y un radiómetro infrarrojo de dos canales "Thermal Infrared Sensor (TIRS)". El sensor OLI entre sus aplicaciones permite el estudio de calidad de las aguas de lagos y costas; mientras que el sensor TIRS nos ayuda a obtener información de la temperatura, para realizar estudios sobre transferencia de calor, gestión del agua e interés del sector agrícola. A continuación, en la Tabla 3 podemos ver una descripción de las características de Landsat 8.

Tabla 3**Características Ladsat 8**

Característica	Descripción
Participantes	<ul style="list-style-type: none"> NASA DOI USGS Autobús de naves espaciales: Orbital Science Corp. Sensor operativo de imágenes de tierra: Ball Aerospace & Technologies Corp. Sensores infrarrojos térmicos: Centro de vuelo espacial Goddard de la NASA
Fecha de lanzamiento	11 de febrero de 2013
Vehículo	Cohete Atlas-V
Sitio	Base de la Fuerza Aérea Vandenberg, California
Astronave	<ul style="list-style-type: none"> 3,14 registrador de datos de estado sólido de terabit Energía provista por un solo panel solar de 9 x 0,4 metros y una batería de 125 amperios-hora (Ahr), níquel-hidrógeno (NIH2) Peso: 2,071 kg (4,566 lbs) completamente cargado con combustible (sin instrumentos) Longitud: 3 m (9.8 pies) Diámetro: 2,4 m (7,9 pies)
Comunicaciones	<ul style="list-style-type: none"> Enlace descendente directo con grabadores de estado sólido (SSR) Velocidad de datos: 384 Mbps en frecuencia de banda X; 260,92 Mbps en frecuencia de banda S
Orbita	<ul style="list-style-type: none"> Sistema de referencia / ruta del Sistema de referencia mundial 2 (WRS-2) Órbita sincrónica al sol a una altitud de 705 km (438 millas) Ciclo de 233 órbitas; cubre todo el globo cada 16 días (excepto las latitudes polares más altas) Inclinado 98.2 ° (ligeramente retrógrado) Circula la Tierra cada 98,9 minutos. Tiempo de cruce ecuatorial: 10:00 am +/- 15 minutos
Sensores	<ul style="list-style-type: none"> OLI Llantas
Tamaño de la escena	170 km x 185 km (106 mi x 115 mi)
Vida de diseño	Mínimo de 5 años.

Nota: Recuperado de (EOS, 2013)

El satélite Landsat 8, posee 11 bandas mediante las cuales se pueden realizar combinaciones que permitirán aprovechar los datos y las imágenes obtenidas de una manera más eficaz. En la Figura 10 se describen las bandas de satélite.

Figura 10.***Bandas Landsat 8***

LDCM OLI/TIRS Características de banda		Explicación de diferencias
30 m, Costera, 0.433-0.453 μm	Banda 1	Banda costera a pedido del color del océano investigadores que requieren una resolución más alta de aguas relativas a MODIS y seaWiFS.
30 m, Azul, 0.450-0.515 μm	Banda 2	
30 m, Verde 0.525-0.600 μm	Banda 3	
30 m, Roja 0.630-0.680 μm	Banda 4	Mejoras en el ancho de banda para evitar las características de absorción atmosférica (habilitadas por la mayor relación señal / ruido inherente a la arquitectura de barrido).
30 m, NIR 0.845-0.885 μm	Banda 5	
30 m, SWIR 1 1.560-1.660 μm	Banda 6	
30 m, SWIR 2 2.100-2.300 μm	Banda 7	
15 m, Pancromática 0.500-0.680 μm	Banda 8	Banda Cirrus agregada para detectar la contaminación de cirrus que podrían no ser visibles en otras bandas espectrales.
30 m, Cirrus 1.360-1.390 μm	Banda 9	
100 m, TIRS1 10.30-11.30 μm	Banda 10	TIRS adquirirá los datos de estas dos bandas térmicas.
100 m, TIRS2 11.50-12.50 μm	Banda 11	

Nota: Recuperado de (USGS, 2012), modificado por el autor

Distorsiones y/o afectaciones en las imágenes satelitales

Las imágenes adquiridas por un sensor remoto, ya sea a través de una cámara o un sensor a bordo de un avión, helicóptero o una plataforma, están propensas a tener errores o distorsiones; en el caso de la teledetección espacial el sensor está a bordo de una nave o plataforma espacial que está orbitando alrededor de la tierra. Las imágenes presentaran una serie de alteraciones radiométricas y geométricas, provocadas por diversos factores como: la rotación terrestre, el sensor, la plataforma y la atmósfera; lo que trae como consecuencia que se generen errores tanto en: el tono, la intensidad, la posición, el nivel digital, forma, tamaño de los objetos, etc. Las distorsiones causan que los objetos registrados por el sensor no coincidan con la realidad. (Chuvienco, 1995)

Corrección de imágenes satelitales

Son procesos que se encargan de eliminar cualquier tipo de anomalía detectada en la imagen; es decir, que reflejen realmente lo que se está capturando tanto en la posición (corrección geométrica) como en el nivel digital (corrección radiométrica).

Corrección geométrica

Es el cambio en la posición que ocupan los píxeles en cuanto a la localización; es decir, asignarle una coordenada a cada píxel sin modificar los ND; corregir los desplazamientos y distorsiones geométricas asociándolos a un sistema de proyección. (Sobrino, 2000)

Para efectuar el proceso de corrección geométrica existen varios métodos, uno de los más usados es el método polinómico, por medio de una función de transformación. (Olaya, 2014)

Ec. 1

$$(x', y') = f(x, y)$$

Para realizar el proceso se emplea un conjunto de puntos de control (GCP), los mismos que, deben estar distribuidos de manera aleatoria, estos deben estar bien definidos y con la mayor precisión posible. La transformación se puede llevar a cabo mediante una función de segundo o tercer grado. Una transformación afín nos permitirá realizar modificaciones en rotación, translación y escalado. Las diferencias entre las coordenadas reales de los GCP y las asignadas mediante el uso del polinomio las definen el error cuadrático medio (ECM). La corrección será perfecta siempre y cuando el ECM sea menor o igual a uno, pero esto no garantiza que el valor asignado de la coordenada sea la correcta. (Olaya, 2014)

Corrección radiométrica

Procesos que se llevan a cabo para modificar la radiometría de la imagen; es decir, modifican los ND originales con el objetivo de acercarlos a la realidad, estas modificaciones de los ND se asemejen a una recepción mucho más ideal a la original. Los errores en los valores de ND capturados pueden ser debidos a perturbaciones

atmosféricas o deficiencia en el sensor. Para disminuir errores debidos a efectos atmosféricos se emplean modelos matemáticos, los mismos que asignaran a los ND de cada objeto registrado los valores reales del objeto en el terreno. Los errores producidos por el sensor, se resolverán con la ayuda de los metadatos radiométricos de la imagen o archivos auxiliares con los cuales podemos realizar el proceso. (Villar, 2004)

Cálculo de Radiancia

Chuvieco (1995) define a la radiancia (L) como “el total de energía radiada por unidad de área y por ángulo sólido”, se mide en $Watts/m^2sr$. La radiancia espectral (L_λ) corresponde en una determinada longitud de onda. Para el proceso se deben convertir los ND a valores de radiancia, obteniendo una escala espectral normalizada, utilizando la siguiente ecuación. (Chander et al., 2009)

Ec. 2

$$L_\lambda = Gain * ND + Bias$$

Donde:

L_λ : Radiancia espectral $\left(\frac{Watts}{m^2 * Sr * \mu m}\right)$

ND : Valor del nivel digital

$Gain$: Ganancia $\left(\frac{Watts}{m^2 * Sr * \mu m}\right)$

$Bias$: Sesgo $\left(\frac{Watts}{m^2 * Sr * \mu m}\right)$

Corrección Atmosférica

Para realizar la correccion atmosferica en una imagen existen varias tecnicas para poder realizarla, entre estas se encuentran el método por Reflectancia al tope de la atmósfera (TOA), en donde, se puede lograr una reducción en la variabilidad de escena a escena. (Chander et al., 2009)

Radiancia a Reflectancia

Según SIGMUR (2003), la reflectancia es “la parte de la irradiancia que refleja la superficie receptora, se mide en tantos por uno y se considera por tanto adimensional, es diferente para cada superficie receptora y para cada cuerpo”; aplicando el Modelo de reflectancia aparente – reflectancia al tope de la atmósfera (TOA) mediante la ecuación 3 se puede calcular el valor de Reflectancia. (Chander et al., 2009)

Ec. 3

$$\rho_{TOA} = \frac{\pi * L_{\lambda} * d^2}{E_{SUN \lambda} * \cos \theta}$$

Donde:

ρ_{TOA} : Reflectancia en el tope de la atmósfera (*adimensional*)

L_{λ} : Radiancia total medida por el satélite a tope de la atmósfera (calculada)

$$\left(\frac{Watts}{m^2 * Sr * \mu m} \right)$$

d: Distancia Tierra-Sol en el momento de la toma de la imagen

(*Unidades Astronómicas*)

$E_{SUN \lambda}$: Irradiancia espectral solar exoatmosférica $\left(\frac{Watts}{m^2 * \mu m} \right)$

θ : Ángulo cenit solar (Restar de 90 grados) (°)

Cálculo de temperatura brillo

Se puede calcular la temperatura utilizando los datos de las bandas térmicas, aplicando un conjunto de ecuaciones se pueden convertir los niveles de radiancia espectral a temperatura en grados Kelvin. Para calcular la temperatura en el sensor, se utilizan las constantes de calibración térmicas proporcionadas en los metadatos de cada imagen satelital. (Chander et al., 2009)

Figura 11.*Bandas térmicas constantes de calibración*

Constantes		K1	K2
Unidades		Watts/(m ² *Sr*μm)	Kelvin
L4 TM		671,62	1284,3
L5 TM		607,76	1260,56
L7 ETM+		666,09	1282,71
L8 OLI/TIRS	Banda 10	774,8853	1321,00789
	Banda 11	480,883	1201,1442

Nota: Recuperado de (Chander et al., 2009), modificado por el autor

La fórmula de conversión de la radiancia espectral a temperatura brillo se la puede definir mediante la siguiente ecuación:

$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)}$$

Ec. 4**Donde:**

T_B : Temperatura de brillo usando bandas térmicas (°K).

K_1 : Constante de calibración 1 $\left(\frac{Watts}{m^2 * Sr * \mu m}\right)$.

K_2 : Constante de calibración 2 (°K).

Software de procesamiento

ERDAS IMAGINE: Es un software muy poderoso principalmente utilizado para el procesamiento de imágenes satelitales y fotografías aéreas; tiene la capacidad de aplicar un lenguaje de modelado gráfico para procesar archivos raster como vector. (esri, n.d.)

Model Maker: Es el lenguaje de modelamiento espacial unido a una interface gráfica. Esto permite crear modelos gráficos usando una paleta de herramientas. (LeicaGeosystems, 2010)

Relación de la Teledetección con el Medio Ambiente

En la última década se ha producido un desarrollo extraordinario en los programas de observación de la tierra para solucionar problemas relacionados con el medio ambiente; el uso de la teledetección nos ha permitido conocer nuestro entorno, por lo cual existen un sin número de aplicaciones en muchas áreas como, por ejemplo: agricultura, forestación, geología, cobertura y usos de suelo, recursos hídricos, entre otros. En concreto para la gestión de los recursos hídricos la posibilidad de utilizar estas técnicas ha permitido resolver cuestiones que mediante los procedimientos tradicionales no se podían realizar; mayor número de imágenes disponibles y la gran variedad de resoluciones permiten realizar aplicaciones enfocándolas en el monitoreo de ríos, lagos, análisis de temperatura del agua, calidad de agua y su relación con los fenómenos biológicos y químicos que pueden ocurrir en el medio de estudio. (Martínez et al., 2010)

Aguas termales

Se consideran aguas termales aquellas aguas subterráneas que en el punto en que emergen tienen una temperatura mayor a la temperatura del ambiente anual en al menos 5 grados centígrados. El agua subterránea al circular por zonas altamente fisuradas de la roca y por efecto termodinámico hace que se incremente su temperatura considerablemente, y en las regiones volcánicas el agua puede verse afectada por el calor que el magma transfiere a las rocas aumentando su temperatura. El agua al entrar en contacto con las rocas adquiere su composición química por procesos físico-químicos y termodinámicos que condicionan la disolución de minerales. (Burbano & García, 2015)

Por razones geológicas naturales en varias zonas del mundo existen aguas de origen volcánico, las mismas que, están siendo manejadas por poblaciones en distintos usos, entre ellos: para su consumo, riego y en ciertos casos recreacionalmente.

Piscinas temperadas y termales

Piscinas temperadas

Una piscina temperada emplea sistemas para calefaccionar el agua; el calor de este tipo de piscinas debe ir acorde al uso que se le vaya a dar, por ejemplo, para competencias la temperatura del agua debe oscilar entre los 24 y 26 grados centígrados (°C). Las piscinas comerciales para climatizar el agua emplean sistemas de caldera, este proceso se asemeja mucho al proceso de calefón, pero a una escala mucho más grande. (Lacoste, 2004)

Piscinas termales

El Ecuador al estar ubicado a lo largo del Cinturón de Fuego del Pacífico, cuenta con actividad volcánica en la mayor parte de sus regiones, por lo cual posee fuentes de aguas subterráneas termales en varios sitios del país. El agua termal se recolecta en piscinas artificiales, hechas por el hombre. Las temperaturas de las aguas subterráneas varían por su nivel de profundidad y por el calor inducido por las placas tectónicas. (EDGPATM, 2018)

Parámetros físico – químicos

Temperatura

La temperatura es una magnitud escalar que está en función de la energía térmica de las partículas que conforman un cuerpo. La energía térmica está dada por la agitación de las partículas que la componen, se la asocia a la energía cinética y esto está vinculado con la temperatura, es decir, a mayor energía cinética, mayor

temperatura y viceversa. En el sistema internacional de unidades el Kelvin (K) es la unidad de la temperatura dado que en esta escala no existen temperaturas negativas. (Fernández, 2013)

Arsénico

El arsénico es un elemento químico de la tabla periódica, su símbolo es As, pertenece al grupo VB y su número atómico es 33; se puede encontrar en diversas formas, pero muy difícilmente se lo puede hallar en estado sólido. Al presentar propiedades intermedias entre metales de transición y no metales es clasificado como un metaloide, por lo cual, posee un amplio rango de reactividad química. (RETC, 2017)

Es un elemento presente en atmósfera, suelo e hidrósfera, que se puede movilizar por procesos naturales como: emisiones volcánicas y actividades humanas como la minería. Este es un elemento tóxico para el ser humano, el cual puede tener efectos negativos en altas concentraciones y en bajas concentraciones, cuando se expone por un largo periodo de tiempo produciendo enfermedades desde dermatitis hasta cáncer. (Lillo, 2008)

Arsénico en aguas subterráneas

El arsénico en aguas subterráneas presenta altas concentraciones, debido a: la interacción agua-suelo, propiedades geoquímicas, disolución de minerales, la erosión y desintegración de rocas, mayor capacidad de movilización y acumulación que presenta el arsénico en acuíferos. (Smedley & Kinniburgh, 2002)

El As presenta una elevada capacidad de movilización debido a los valores de pH característicos de agua subterráneas (6.5-8.5); la concentración en cuerpos de agua está en función de la litología de la cuenca, actividad minera, vertidos urbanos o

industriales en donde los valores de arsénico oscilaran de 0.1 - 0.8 mg/L, pudiendo alcanzar incluso valores de 2 mg/ L. (Garcia, 2013)

Arsénico en aguas geotermales

La principal característica de las aguas geotermales es la temperatura; de acuerdo a Schoeller (1962), citado en, Burbano et al. (2013), de acuerdo a su temperatura se clasifican en:

- Hipertermal: más de 40 °C
- Mesotermal: 30 y 40 °C
- Hipotermal: 20 y 30 °C
- Frías: menos de 20 °C

Jimenez (2018), hace referencia a que las fuentes de As son: la actividad volcánica y alteraciones hidrotermales las cuales están relacionadas al volcanismo.

Especies arsenicales

El arsénico en el medio ambiente, puede formar compuestos inorgánicos al combinarse con oxígeno, cloro y azufre; y orgánicos al combinarse con carbono e hidrógeno; como especies disueltas se presentan en dos estados de oxidación: Arsénico trivalente o arsenito, As (III); y arsénico pentavalente o arseniato As (V). En general las formas más tóxicas son las inorgánicas, en particular el As (III) es más tóxico que el As (V). (Jimenez, 2018)

Normativa Calidad de Agua

A continuación, en la Tabla 4 se observan los límites máximos permisibles según el Acuerdo Ministerial 097-A Reforma Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente, Libro VI.

Tabla 4.*Acuerdo Ministerial 097-A de Arsénico Total*

Norma	Tipo de agua	Límite
Acuerdo ministerial 097-A	Agua de consumo humano	0.1 mg/L
	Preservación de vida	0,05 mg/L
	Agua de riego	0.1 mg/L
	Agua de uso pecuario	0.2 mg/L
	Descarga en alcantarillado	0,1 mg/L
	Descarga agua dulce	0,1 mg/L

pH

Según Gonzáles (2011), se define como “el potencial de hidrogeno o la cantidad de iones hidrógenos que hay en el agua, expresa el grado de acidez o basicidad de una solución en un rango que va desde el 0 hasta el 14”. Siendo el pH 7 “neutro”; se considera una solución ácida a aquella que presenta un valor menor a 7 y básica a aquella mayor a 7 es básica. Se lo representa mediante la siguiente fórmula:

Ec. 5

$$pH = -\log_{10}[H^+]$$

Conductividad

Es la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica, su unidad de medida en el SI es S/m; esta medida está relacionada con: la presencia de iones disueltos, movilidad, valencia, concentraciones, así como la viscosidad y la temperatura. Es importante ya que se la relaciona con la pureza del agua, es decir, entre más baja sea más pura va a ser el agua. (Carbotecnia, 2020)

Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto (OD) presente en aguas proviene de dos fuentes principales: la primera es a través de la atmósfera, ya que las moléculas de oxígeno del agua están

en contacto con las de la atmósfera; la segunda es a través de la fotosíntesis, debido al intercambio de dióxido de carbono por oxígeno producido por las plantas. Este parámetro es un indicador de buena calidad de agua ya que un nivel alto de OD indica que puede dar soporte a vida animal y vegetal y viceversa si este parámetro es bajo nos indica cuan contaminada está el agua. Además, la cantidad de oxígeno disuelto está relacionado con la temperatura, ya que en aguas más fría el nivel de OD aumentará y viceversa. (Peña, 2007)

Equipo Multiparametro HQ30d

Es un equipo de medición utilizado para obtener datos de calidad de agua, estas mediciones se las realiza en muestras de agua tomadas en campo (in situ). El multiparámetro principalmente realiza mediciones de parámetros físico químicos como: pH, conductividad, T°, oxígeno disuelto, potencial redox, etc. (Junco, 2015) En la Tabla 5 podemos apreciar algunas de las especificaciones del multiparametro HQ30d.

Tabla 5.

Especificaciones del Multiparametro HQ30d

ESPECIFICACIONES	
Condiciones ambientales: humedad relativa	90% de humedad relativa (sin condensación)
Condiciones ambientales: temperatura	5 - 45 °C
Entradas electrodos digitales (inteligentes)	2
Exactitud de la conductividad	± 0.5 % desde (1µS/cm a 200 mS/cm)
Pantalla	Lecturas de la pantalla de una o dos sondas. Lecturas simultaneas de dos
Parámetro	pH, mV, ISE, ORP/Redox, oxígeno disuelto, conductividad, TDS, salinidad,
Peso	0.335 Kg

ESPECIFICACIONES	
Pilas/baterías requeridas	4, AA
Rango de medición de la conductividad	0.01 μ S/cm - 200 mS/cm
Rango medición OD	0.01 - 20 mg/L (0 a 200%)
Resistente al agua	Caja del medidor: Inmersión de 1 metro durante 30 minutos (IP67)
Resolución	0.1/0.01/0.001
Resolución DBO5/CDBO	Disponible cuando se usa con el software WIMS BOD Manager de Hach
Resolución de la conductividad	0.01 μ S/cm con 2 dígitos
Resolución OD	0.01 mg/L
Tipo de sonda	Standard

Nota: Recuperado de (Hach, n.d.) modificado por el autor (2019)

Vehículo aéreo no tripulado (UAV)

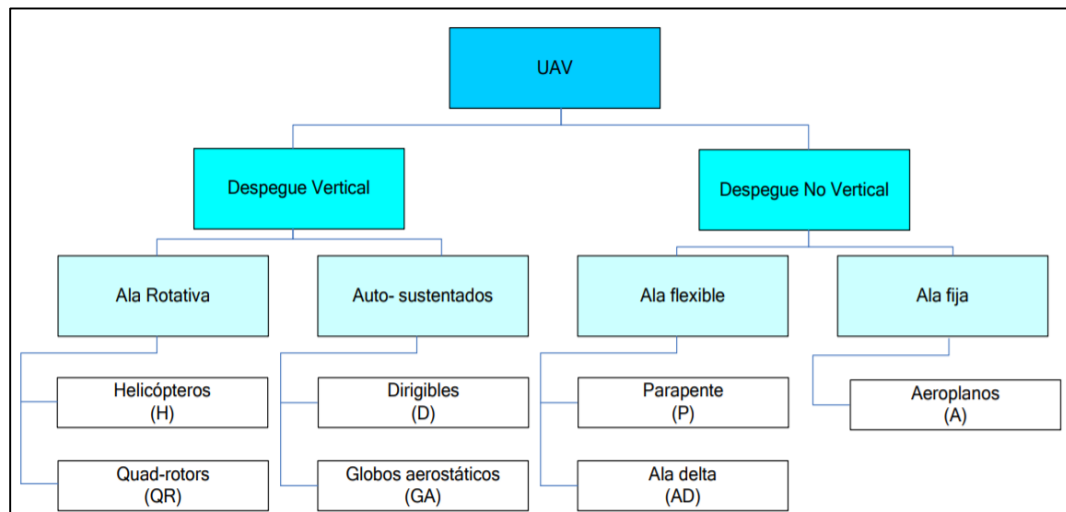
Los UAVs (Unmanned Aerial Vehicle) o drones son vehículos aéreos con la capacidad de volar sin piloto a bordo, pueden ser controlados de forma remota por personas o mediante planes de vuelo programados en software. Pueden cumplir distintas funciones abarcando campos como seguridad y defensa; adicionalmente, hoy en día existe un notable avance para su aplicación en fotogrametría y teledetección aplicándolos al medio ambiente, agricultura, etc. (Singhal et al., 2018)

Clasificación de los UAV

Existen varios criterios para establecer una clasificación para los UAVs, por ejemplo, máxima altitud, alcance, duración de vuelo. Según Barrientos et al. (2009), el criterio más simple para clasificar los UAV es según el tipo de aeronave (Figura 12).

Figura 12.

Clasificación de UAVs según el tipo de aeronave



Nota: Recuperado de (Barrientos et al., 2009)

Vehículos aéreos no tripulados VTOL

De acuerdo a Yu, Heo & Know (2016), citado en Manzano (2020), dentro de la clasificación de Despegue Vertical, se incluyen los vehículos aéreos no tripulados VTOL (Vertical Take-off and Landing), los cuales caracterizan por despegar y aterrizar de manera vertical, pero presentan características similares a los equipos de ala fija.

UAV con ala rotatoria

Según Díaz (2015), los drones de ala rotatoria o también conocidos como multirrotores son los tipos de drones más utilizados actualmente, proporcionan gran versatilidad, eficacia y generan sus sustentaciones a través de las fuerzas que generan las hélices de sus rotores, permitiendo: maniobrar y variar la velocidad de vuelo; estos equipos a diferencia de los UAV de ala fija, no necesitan de una serie de requerimientos tanto para el despegue como el aterrizaje; una de las ventajas que presentan los UAV

de ala rotatoria es la de añadir una carga útil, es decir, colocar un peso extra al UAV sin incluir su peso, por ejemplo: cámaras, sensores, etc.

DJI Matrice 600 Pro

Según la empresa DJI, el hexacoptero Matrice 600 Pro (Ver Figura 13) es una versión mejorada en rendimiento de vuelo y capacidad de carga del M600, en la Tabla 6 se detallan sus especificaciones.

Figura 13.

Matrice 600 PRO



Nota: Recuperado de (DJI, 2017)

Tabla 6.

Especificaciones UAV Matrice 600 PRO

ESPECIFICACIONES	
Distancia diagonal entre ejes	1133 mm
Dimensiones	1668 mm x 1518 mm x 727 mm con las hélices, brazos y el soporte del GPS desplegados (incluyendo el equipo de aterrizaje)
	437 mm x 402 mm x 553 mm con las hélices, brazos y el soporte del GPS plegados (excluyendo el equipo de aterrizaje)
Dimensiones del Paquete	525 mm x 480 mm x 640 mm
Peso (con seis baterías TB48S)	10 kg
Máximo Peso Recomendado al Despegar	15.5 kg
Precisión de Vuelo Estacionario (P-GPS)	Vertical: ± 0.5 m, Horizontal: ± 1.5 m
Velocidad Angular Máx	Inclinación: 300°/s, Giro: 150°/s
Ángulo máximo de inclinación	25°
Resistencia al Viento Máx.	8 m/s
Velocidad Máx. en Ascenso	5 m/s
Velocidad Máx. en Descenso	3 m/s
Velocidad Máx.	65 km/h / 40 mph (sin viento)

ESPECIFICACIONES	
Altura Max. de Servicio sobre el Nivel del Mar	2500 m
Sistema de Control de Vuelo	A3 Pro
Estabilizadores DJI compatibles	Ronin-MX; ZENMUSETM Z30, Zenmuse X5/X5R, Zenmuse X3, Zenmuse XT; Zenmuse Z15 Series HD Gimbal: Z15-A7, Z15-BMPCC, Z15-5D III, Z15-GH4
Tren de Aterrizaje Retráctil	Standard
Temperatura de funcionamiento	de -10° a 40° C (de 14° a 104° F)
Cargador (Modelo: MC6S600)	
Voltaje de Salida	26.1 V
Potencia Nominal	600 W
Potencia con una única batería en el puerto	100 W
Batería Opcional (Modelo: TB48S)	
Capacidad	5700 mAh
Voltaje	22.8 V
Tipo de Batería	LiPo 6S
Energía	129.96 Wh
Peso Neto	680 g
Temperatura de funcionamiento	14° to 104° F (-10° to 40° C)
Potencia de Carga Máx	180 W

Nota: Recuperado de (DJI, 2017)

Cámara Zenmuse XT2

Esta cámara es una herramienta de fotografía térmica de doble de potencia, ya que combina un sensor térmico FLIR con una cámara visual 4K (ver Figura 14); por lo que, permite obtener imágenes infrarrojas y visuales de forma simultánea; las configuraciones de sensores duales de la XT2 permiten hacer más cosas en menos tiempo y pueden recoger información visual y térmica fácilmente (DJI, 2018). Algunas especificaciones de esta cámara se detallan en la Tabla 7.

Figura 14.

Cámara Zenmuse XT2



Nota: Recuperado de (DJI, 2018)

Tabla 7.

Características de la cámara Zenmuse XT2

ESPECIFICACIONES	
Dimensiones	Con lente de 25 mm: 123.7 × 112.6 × 127.1 mm Con otra lente: 118.02 × 111.6 × 125.5 mm
Gimbal	
Sensor	Píxeles efectivos CMOS de 1 / 1.7 " : 12 M
Rango de vibración angular	± 0.01 °
Montar	Desmontable
Rango controlable	Inclinación: + 30 ° a -90 ° Pan: ± 320 °
Rango Mecánico	Inclinación: + 45 ° a -130 ° Pan: ± 330 ° Rollo: -90 ° a + 60 °
Velocidad máxima controlable	Inclinación: 90 ° / s Pan: 90 ° / s
Cámara térmica	
FPA/ formatos de visualización de video digital	640 × 512 336 × 256
Zoom digital	640 × 512: 1x, 2x, 4x, 8x 336 × 256: 1x, 2x, 4x
Tamaño de píxel	17 µm
Banda espectral	7.5-13.5 µm
Tarifas de fotograma completo	30 Hz
Tasas de cuadros exportables	<9 Hz
Sensibilidad (NETD)	<50 mk @ f / 1.0
Rango de escena (alta ganancia)	640 × 512: -25 ° a 135 °C 336 × 256: -25 ° a 100 °C
Rango de escena (baja ganancia)	-40 ° a 550 °C
Almacenamiento de archivos	Tarjeta micro SD*
Formato de foto	JPEG, TIFF, R-JPEG
Formato de video	8 bits: MOV, MP4 14 bits: secuencia TIFF, SEQ **
Cámara visual	
Sensor	Píxeles efectivos CMOS de 1 / 1.7 " : 12 M
Lente	Enfoque de lente principal a FOV de 8 mm 57.12 ° × 42.44 °
Zoom digital	1x, 2x, 4x, 8x (solo visualización en vivo)
Formatos de fotos	JPEG
Formatos de video	MOV, MP4
Resoluciones de video	4K Ultra HD: 3840 × 2160 29.97p FHD: 1920 × 1080 29.97p
Modos de trabajo	Captura, Grabación, Reproducción Intervalo de disparo de
Modos de fotografía fija	ráfaga de disparo único (3/5 cuadros) Intervalo (2/3/5/7/10/15/20/30 seg)
Título de video	Soportado
Contra parpadeo	Auto, 50 Hz, 60 Hz
Almacenamiento	Tarjeta MicroSD
Sistema de archivos soportado	FAT 32 (≤32GB), exFAT (> 32GB)

Nota: Recuperado de (DJI, 2018)

Plan de vuelo

Es el conjunto de parámetros técnicos establecidos previos a la realización de un vuelo fotogramétrico. Un plan de vuelo cumplirá el objetivo propuesto mediante la configuración de operaciones como: altura de vuelo, traslapeo de imágenes, número de pasadas, etc., que varían en función del sensor seleccionado. (Burbano & García, 2015)

DJI PILOT

Es una de las aplicaciones de control de vuelo de la empresa DJI; permite llevar a cabo los vuelos con eficiencia, rentabilidad, gran detalle y realizar inspecciones semiautomáticas, lo que ayuda a los pilotos en las operaciones con drones. Permite configurar los parámetros de vuelo de operaciones de toma de fotografía en un gran número de equipos profesionales, incluyendo: la cámara térmica Zenmuse XT2 y la cámara con zoom Zenmuse Z30. (DJI, 2018)

Software fotogramétrico para UAV

- **Pix4D Mapper**

Pix4D es un software fotogramétrico que utiliza algoritmos para transformar un conjunto de imágenes y generar productos 2D y 3D. El software genera nubes de puntos 3D, así como la producción de modelos digitales del terreno (MDT) y superficie (MDS) a partir de los cuales es capaz de generar ortofotos u ortomosaicos. (Azcoiti, 2016)

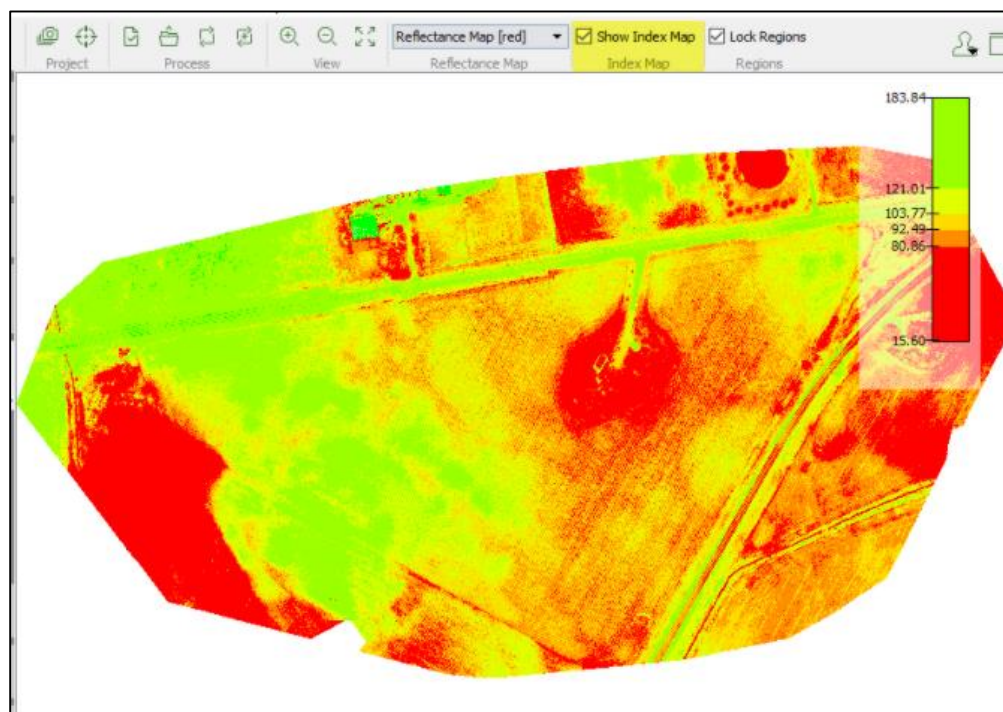
Con su avanzada técnica de Aerotriangulación automática es capaz de tratar imágenes RGB, NIR multiespectrales e hiperespectrales, además, es en una herramienta para el análisis y estudio de la termografía, índices, topografía y cartografía. (Quirós, 2014)

Índice de temperatura

Pix4D permite cambiar las opciones de procesamiento y las salidas relacionadas con la Calculadora de índice. El software da las opciones de generar y guardar un mapa de Reflectancia en formato GeoTIFF (ver Figura 15), donde genera la cuadrícula del mapa de índice y las clases para los índices seleccionados. Hay un índice de escala de grises que combina las diferentes bandas al escalarlas; el software trabaja con fotos formato rjpeg las cuales constan de datos radiométricos; Pix4D usa esta información radiométrica y realiza la corrección de temperatura en los mapas de Reflectancia e índice, dando como resultado un mapa térmico donde los valores del pixel se asemejan a los valores de temperatura. (Pix4D, n.d.)

Figura 15.

Mapa de Reflectancia



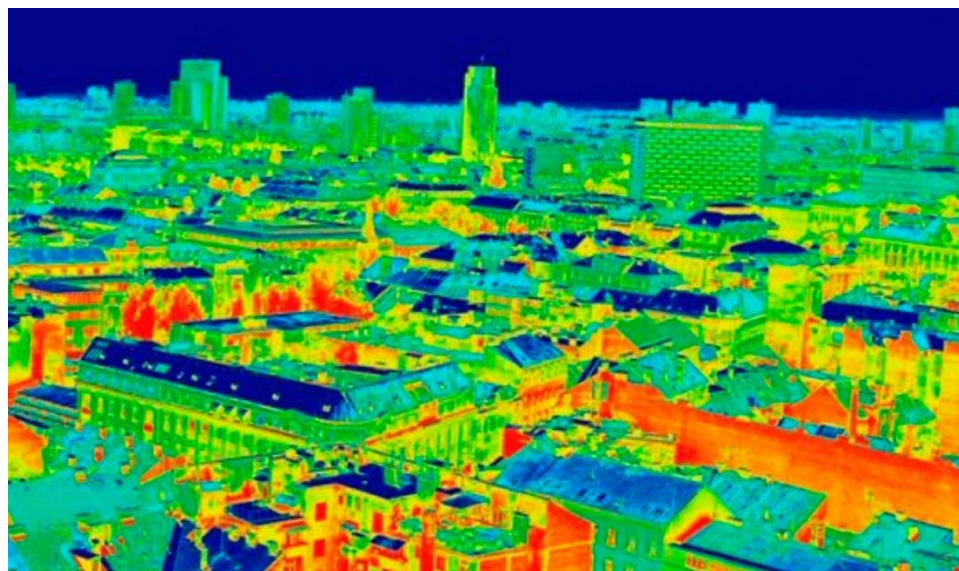
Nota: Recuperado de (Pix4D, n.d.)

Termografía UAV

La termografía es una técnica que puede ser empleada en distintos campos de investigación y de gran utilidad en actividades como: comprobación y rendimiento de paneles solares, puntos calientes en construcción y edificaciones, seguridad y salvamento, agricultura de precisión, gestión de recursos hídricos, etc. Esta técnica al ser aplicada sobre drones nos ofrece una serie de ventajas para la detección remota de los fenómenos; por ejemplo: permite trabajar a distintas escalas, registrar de datos en tiempo real, monitorizar eficazmente el estado hídrico de los cultivos, ya que permite optimizar el uso de agua; así como, permite ahorrar grandes cantidades de dinero, ya que es mucho más económico realizar un estudio con un dron equipado con cámara termográfica que con una aeronave de tamaño real. (Interempresas, 2018)

Figura 16.

Imagen obtenida a través de una cámara termográfica en un drone



Nota: Recuperado de (Interempresas, 2018)

La termografía tiene su principio en la detección de radiación infrarroja emitida por los objetos, mientras más calientes se encuentran es mayor la emisión. Los objetos emiten energía electromagnética con una longitud de onda en el rango de los infrarrojos (0,75 μm -100 μm). Con la ley de Stefan-Boltzmann (Ecuación 6), podemos determinar que la radiación infrarroja emitida aumentará acorde a la temperatura de los objetos. (Kaplan, 2007)

Ec. 6

$$W = \sigma * T^4$$

Donde:

W : Radiación total emitida (energía radiante) $\left(\frac{W}{m^2}\right)$

σ : Constante de Stefan-Boltzmann $\left(5.67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}\right)$

T : Temperatura absoluta del cuerpo (K)

Puntos de control terrestre

Es la determinación de coordenadas planimétricas y altimétricas de un espacio físico en la tierra respecto a un sistema de coordenadas. Estos puntos se establecen con la finalidad de generar información de gran utilidad en procesos de georreferenciación, pueden utilizarse como puntos guía de acuerdo a las necesidades de cada proyecto (Perdomo et al., 2015). Los equipos GNSS (Global Navigation Satellite System) nos ayudarán a obtener puntos de control terrestre. Existen varios métodos de posicionamientos los utilizados en esta investigación son:

- Estático: Consiste en efectuar observaciones con dos o más receptores en forma simultánea, durante períodos de tiempo superiores a una hora.

(González, 2015)

- Fast Static/ Estático rápido: se caracteriza por tiempos de observación cortos van desde 15 a 30 min. En este método uno de los receptores actúa como “base” en un punto de coordenadas conocidas recolectando datos durante todo el tiempo que dure la sesión, mientras otro receptor denominado “rover”, lo hará en todos los puntos que se pretendan determinar sus coordenadas. (González, 2015)

El software Trimble Business Center (TBC) presenta una serie de herramientas para realizar el postprocesos de puntos de control, ajustes de poligonal, etc., TBC realiza estas operaciones a través de ajustes por mínimos cuadrados, para que el ajuste sea preciso. (Trimble, 2020)

Estadística

Coefficiente de correlación de Pearson

Es una medida numérica que permite medir el grado de asociación lineal entre dos conjuntos de variables. El coeficiente puede tomar cualquier valor en un intervalo de -1 y 1 por lo que se plantean varios tipos de correlación descritos en la Tabla 8. (Lind et al., 2008)

Tabla 8.

Tipos de correlación

Tipo de correlación	R^2
Correlación positiva o directa perfecta	1
Correlación positiva	Mayor a 0
Correlación débil	Próxima a 0
Correlación negativa	Menor a 0
Correlación negativa o indirecta perfecta	-1

Nota: Recuperado de(Lind et al., 2008), modificado por el autor

Se lo puede calcular con la siguiente ecuación:

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y}$$

Ec. 7

Donde:

$\sigma_X \sigma_Y$: Covarianza de (X, Y)

σ_X : Desviación típica de la variable (X)

σ_Y : Desviación típica de la variable (Y)

Software de investigación

R: Es un software libre para el análisis estadístico y generación gráficas. Emplea un lenguaje de programación orientado a objetos en donde se añaden nuevas técnicas mediante la definición de funciones. (Universidad de Granada, 2016)

Capítulo III

Metodología

Generalidades

En el presente proyecto se establecerá y desarrollará una metodología que tiene como objetivo correlacionar las variables temperatura y Arsénico (AsT), utilizando información térmica de imágenes satelitales y aviones no tripulados (UAV). Para el tratamiento de la imagen satelital, se deberán realizar las respectivas correcciones, obteniendo una imagen con valores de radiancia que posteriormente nos permitirá el cálculo de la temperatura.

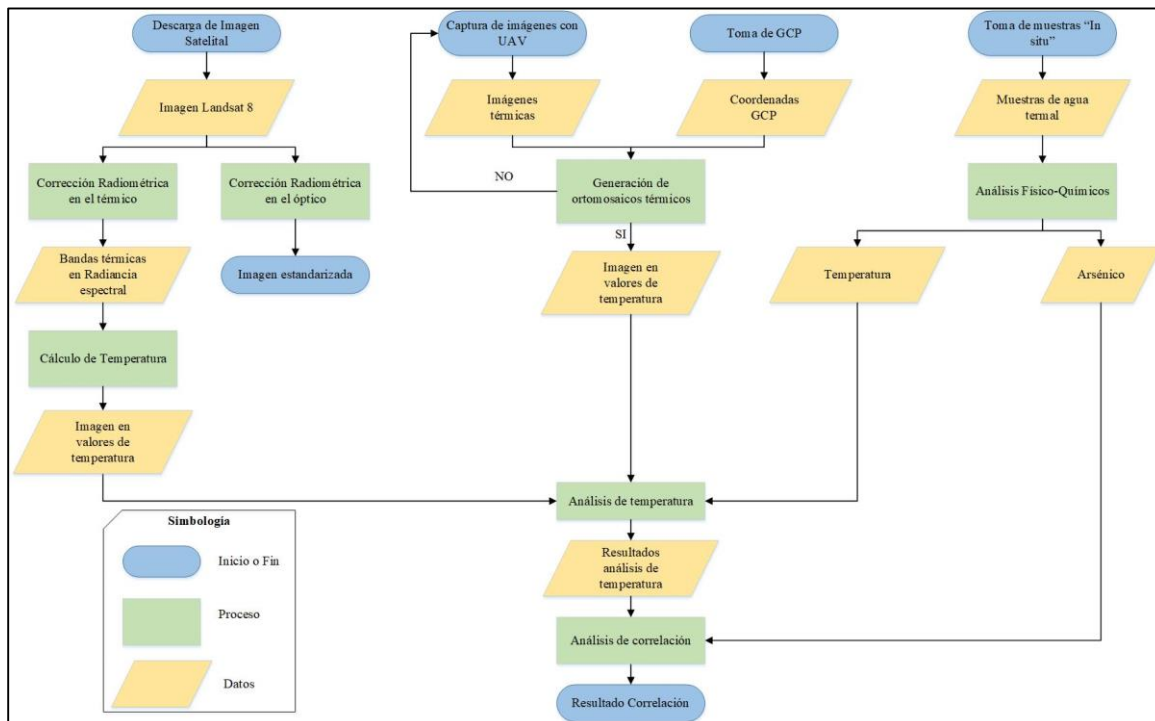
El estudio utilizará dos métodos: experimental y comparativo; experimental, al momento de buscar y establecer los parámetros que nos permitan la generación de mosaicos térmicos, además, la obtención de datos en campo, toma de muestra para determinar los parámetros físico – químicos y la concentración de arsénico; y comparativo, ya que se relacionará la temperatura obtenida con los sensores y el nivel de arsénico, con la finalidad de establecer sus similitudes y diferencias, y en base a ello establecer conclusiones; en la Figura 17 se ilustra un esquema general del proceso.

El desarrollo del proyecto, se definió en cuatro fases, descritas a continuación:

- Fase 1.- Descarga, procesamiento y cálculo de temperatura en imágenes satelitales
- Fase 2.- Vuelos de prueba para la generación de mosaicos térmicos
- Fase 3.- Recopilación, levantamiento y procesamiento de la información geoespacial y ambiental.
- Fase 4.- Análisis de correlación entre las variables temperatura y arsénico.

Figura 17.

Metodología general del proyecto



Descarga de imágenes satelitales

La imagen utilizada corresponde al satélite Landsat 8, año 2020, descargada libremente de la página EarthExplorer de la USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>); con identificación LC08_L1TP_010060_20200304_20200314_01_T1; la nomenclatura de imágenes satelitales Landsat se encuentra descrita en el **Anexo A**.

Se debe tener en cuenta ciertos parámetros para la adquisición de la imagen como: nivel de procesamiento, fecha de adquisición y uno de los más importante es el porcentaje de nubes de la zona de estudio, ya que el cálculo de la temperatura de brillo en la imagen se vería afectado por la nubosidad. El procedimiento que implica la descarga de imágenes satelitales, así como los parámetros a tomar en cuenta están detallados en el **Anexo A**.

Una vez realizada la descarga de la imagen con el apoyo de la herramienta Model Maker se desarrolló el proceso que permitirá llevar a cabo las operaciones matemáticas correspondientes para cumplir con el objetivo deseado.

Correcciones en la imagen satelital

Una vez descargada la imagen, se analiza que correcciones se deben realizar en función del objetivo; en esta investigación el objetivo es obtener los ND en valores de temperatura; a continuación, se describen los procesos a seguir:

Corrección geométrica de la imagen satelital

Previo a realizar la corrección geométrica, se verifica la exactitud posicional, es decir, comprobar que la imagen este ubicada correctamente en la verdadera posición en la tierra; esto se lo realiza mediante información (cartografía, imagen, etc.) de igual o mayor precisión; en ese sentido, se colocó la imagen sobre la cartografía de la zona y visualmente se denota que cumple con su ubicación; por lo tanto, no es necesario hacer la corrección. Adicionalmente, en base a los metadatos de la imagen, la información descargada ya se encuentra con una corrección geométrica llevada a cabo mediante datos de posicionamiento y efemérides del satélite. Los datos utilizados para la investigación no poseen ninguna distorsión relacionada con el sensor, debido a que se trabajará con un archivo de tipo "L1T", lo cual indica que, para realizar la corrección geométrica se utilizaron: Modelos digitales de elevación (MDE) y puntos de control terrestre (CPF) (USGS, 2012); esta información se puede visualizar en la Figura 18.

Figura 18.

Metadatos imagen Landsat

```

GROUP = PRODUCT METADATA
DATA_TYPE = "L1TP"
COLLECTION_CATEGORY = "T1"
ELEVATION_SOURCE = "GLS2000"
OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_8"
SENSOR_ID = "OLI_TIRS"

METADATA_FILE_NAME = "LC08_L1TP_010060_20200304_20200314_01_T1
_MTL.txt"
CPF_NAME = "LC08CPF_20200101_20200331_01_04"
BPF_NAME_OLI = "LC08BPF20200304150254_20200304155020_01"
BPF_NAME_TIRS = "LC08BPF20200223116021_20200310034739_01"
RLUT_FILE_NAME = "LC08RLUT_20150303_20431231_01_12.h5"
END_GROUP = PRODUCT METADATA

GROUP = IMAGE ATTRIBUTES
CLOUD_COVER = 67.82
CLOUD_COVER_LAND = 67.82
IMAGE_QUALITY_OLI = 9
IMAGE_QUALITY_TIRS = 9
TIRS_SSM_MODEL = "FINAL"
TIRS_SSM_POSITION_STATUS = "ESTIMATED"
TIRS_STRAY_LIGHT_CORRECTION_SOURCE = "TIRS"
ROLL_ANGLE = -0.001
SUN_AZIMUTH = 102.12195715
SUN_ELEVATION = 59.63129365
EARTH_SUN_DISTANCE = 0.9917219
GROUND_CONTROL_POINTS_VERSION = 4
GROUND_CONTROL_POINTS_MODEL = 65
GEOMETRIC_RMSE_MODEL = 7.165
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_Y = 5.647
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_X = 4.410
GROUND_CONTROL_POINTS_VERIFY = 39
GEOMETRIC_RMSE_VERTICAL = 5.121
TRUNCATION_OLI = "UPPER"
END_GROUP = IMAGE ATTRIBUTES

```

Corrección radiométrica de la imagen satelital

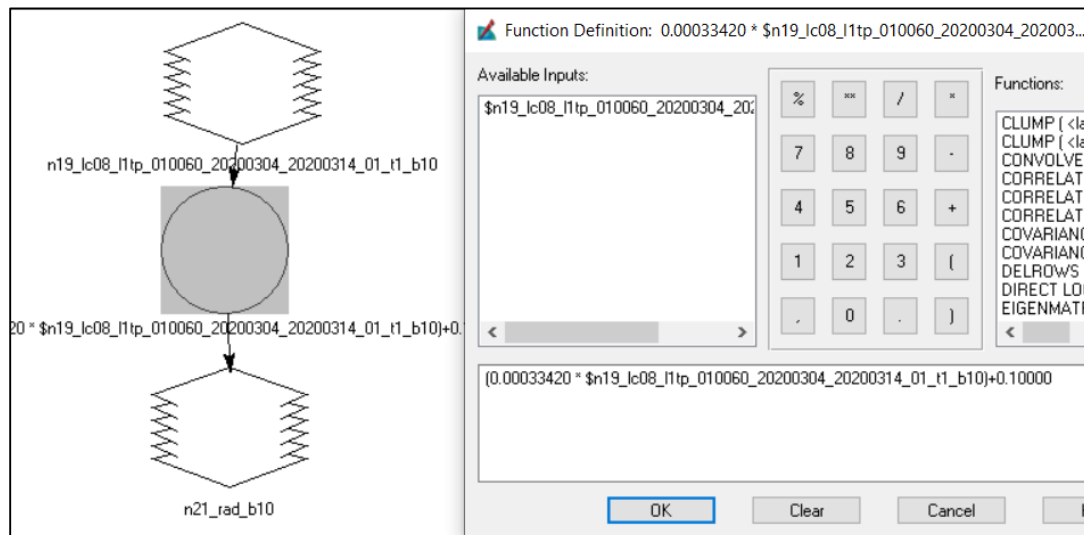
Con el objeto de generar imágenes en reflectancia y temperatura, se necesita transformar los ND a magnitudes físicas; para conocer cómo se realizó la transformación de radiancia y corrección atmosférica (Reflectancia) ir al **Anexo A**; los resultados de estos cálculos se muestran en el Capítulo IV. A continuación, se explica cómo calcular la radiancia espectral en las bandas térmicas.

Cálculo de radiancia espectral en las bandas térmicas

El modelo matemático está establecido por la Ec. 2 del marco teórico; partiendo de los ND de la imagen y de los metadatos usando los valores de ganancia (G) y sesgo (B) se obtendrá la radiancia espectral en $W/m^2 * Sr * \mu m$. Con la herramienta model maker se define la ecuación y ejecuta el proceso (ver Figura 19); cuya imagen resultante se visualiza en el capítulo IV y proceso se detalla en el **Anexo A**.

Figura 19.

Modelo para el cálculo de radiancia



Nota; En donde:

$$\text{Gain: } 0.00033420 \left(\frac{\text{Watts}}{\text{m}^2 * \text{Sr} * \mu\text{m}} \right);$$

$$ND_{\lambda} : \$n19_lc08_l1tp_010060_20200304_20200314_01_t1_b10$$

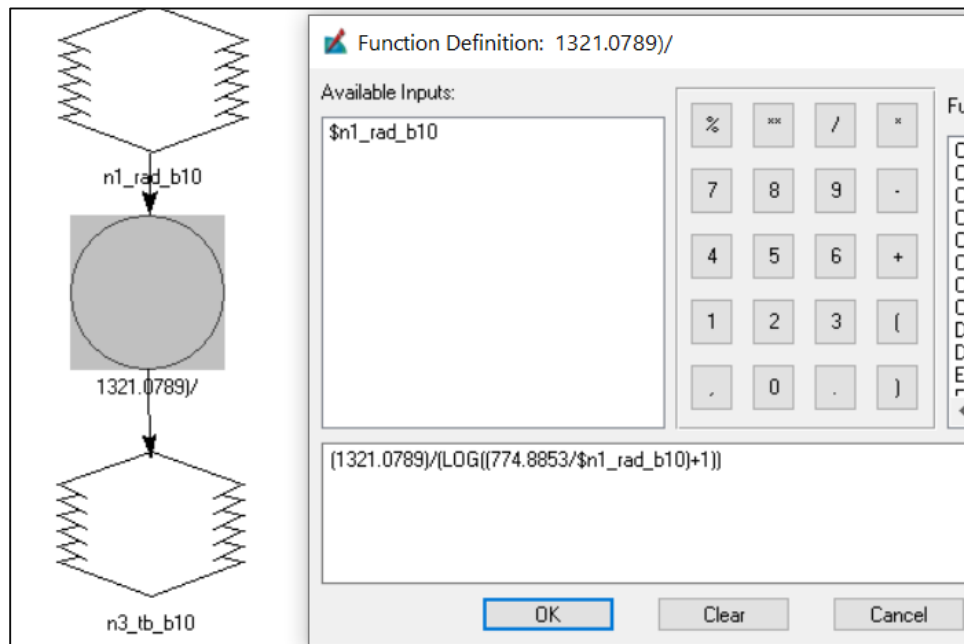
$$\text{Bias: } 0.10000 \left(\frac{\text{Watts}}{\text{m}^2 * \text{Sr} * \mu\text{m}} \right)$$

Cálculo de temperatura de brillo

El cálculo de la temperatura se realiza a partir de las bandas térmicas corregidas radiométricamente, en el caso de la imagen Landsat 8 se cuenta con dos bandas térmicas; para llevar a cabo este proceso se aplica la Ec. 4 del Capítulo II. En la Figura 11 del marco teórico se puede visualizar las constantes de calibración K1 y K2, las cuales son propias para cada sensor. Es importante señalar que la Ec.4 está diseñada para hallar la temperatura de brillo de las bandas térmicas en grados Kelvin (K), si se requiere obtener los resultados en Celcius (°C) restar 273°. Los cálculos y proceso se encuentran detallados en el **Anexo A**; los resultados se presentan en el Capítulo IV.

Figura 20.

Modelo para el cálculo de Temperatura de brillo



Nota; Donde:

$$L_{\lambda}: \$n1_rad_b10 \left(\frac{Watts}{m^2 * Sr * \mu m} \right)$$

$$K_1: 774.8853 \left(\frac{Watts}{m^2 * Sr * \mu m} \right).$$

$$K_2: 1321.0789 \text{ (}^{\circ}K\text{)}.$$

Debido a que la resolución espacial de la imagen satelital es muy grande; cada valor de pixel en K incluirá la temperatura de una asociación de objetos, a diferencia de los datos de las piscinas térmicas in situ, lo que probablemente dificultará la validación de la temperatura. Por esta razón, para verificar los resultados, se ha incluido valorar los pixeles de temperatura resultante con un mapa de isotermas, obtenido del geoportal del Sistema Nacional de Información (SNI), fuente INHAMI; para hallar esta diferencia de temperatura se efectuará un proceso de algebra de mapas; los resultados de esta comparación se los puede visualizar en el Capítulo IV.

Vuelos de prueba para la generación de ortomosaicos térmicos

Al no contar con una metodología establecida que permita la generación de mosaicos térmicos se realizaron varias pruebas de vuelo para lograr este objetivo, las cuales se llevaron a cabo en dos sitios: Campus Sur Universidad Politécnica Salesiana (UPS) y Parque Bicentenario.

Las pruebas en el Campus Sur UPS se las hizo con un dron de ala fija “eBee SenseFly” y una cámara térmica “thermoMap” como se puede ver en la Figura 21; en la fase inicial de las pruebas estos equipos sufrieron una avería por lo cual no se obtuvieron resultados de los vuelos.

Figura 21.

Dron de ala fija eBee SenseFly



En el parque Bicentenario mediante el Dron Matrice 600 Pro (propiedad de la estación N° 21 del Cuerpo de Bomberos del Distrito Metropolitano de Quito), se hicieron pruebas de: las paletas y los traslapos; las paletas de trabajo fueron: Sepia, WhiteHot y IceFire, siendo esta última la que brinda mejores resultados; con respecto a, las

propuestas de los traslapes tanto transversal como longitudinal se ilustran en la Tabla 9; los resultados de las pruebas de vuelo se encuentran en el Capítulo IV.

Tabla 9.

Variaciones de traslapo

Vuelo	Traslape longitudinal (%)	Traslape transversal (%)
1	70	70
2	80	80
3	90	90

Recopilación y procesamiento de la información geoespacial

Plan de vuelo

La primera fase para realizar un levantamiento o la captura de imágenes mediante tecnología UAV es el plan de vuelo, para llevar a cabo esto es importante conocer las zonas de estudio con la finalidad de observar las variables que pueden poner en riesgo la ejecución del proyecto, tanto la integridad del UAV como las de personas e infraestructuras, etc.

Hecho el reconocimiento de las zonas de estudio, se procede a desarrollar los distintos planes de vuelo; utilizando la aplicación DJI Pilot, descrita en el Capítulo II. A continuación, en la Tabla encontrará las especificaciones y características de vuelo en cada zona de estudio.

Tabla 10.*Parámetros del vuelo con UAV*

Zona de estudio		Parámetros					
Complejo	Piscinas	Área (ha)	Altura de vuelo (m)	Traslape longitudinal	Traslape transversal	Velocidad m/s	GSD (cm)
Rumiloma	piscina 1	0,1367	35	90	90	3,1	3,29
	piscina 1	0,0631					2,11
El Tingo	piscina 2	0,0935	30	90	90	2,5	2,35
	piscina 3						
Ilalo	piscina 1	0,1744	30	90	90	2,5	2,34
	piscina 2	0,3061					2,88

Captura de imágenes térmicas

Se realizó la captura de las imágenes con el UAV Matrice 600 y la cámara Zenmuse XT2 Pro (ver Figuras 22 y 23), las características de estos equipos se detallan en los ítems **2.16.3** y **2.17** y respectivamente; A partir de la toma con esta cámara se obtuvieron imágenes tanto RGB como térmicas; siendo estas últimas las que se utilizaron para llevar a cabo el estudio.

Figura 22.*UAV DJI Matrice 600 Pro***Figura 23.***Despegue del UAV*

Parámetros como el GSD o tamaño de pixel resultante se calculan automáticamente por medio de la aplicación DJI Pilot. En la Tabla 10 ilustrada anteriormente, se divisan los valores del GSD resultante para cada zona de estudio.

Toma y postproceso de puntos de control fotogramétrico (GCP)

De las zonas de estudio, únicamente, se tomó GCP del complejo Ilaló; los puntos de apoyo fotogramétrico (GCP), se posicionaron utilizando el método Fast Static con la finalidad de georeferenciar el bloque en el sistema de coordenadas terrestre. Para el rastreo GNSS, se tomaron en cuenta los siguientes parámetros: para el posicionamiento Fast Static, el tiempo de rastreo fue de 15 minutos en intervalo de 5 segundos y con una máscara de 15° ; por otro lado, la base fue rastreada mediante el método de posicionamiento Estático, con un tiempo de mínimo una hora en intervalos de 1 segundo y con una máscara de 15° igualmente; estos parámetros son recomendados por Kirby (2012) citado en (Manzano, 2020) los cuales hacen referencia a la máscara de registro y el tiempo. Los puntos se rastrearon con el GNSS de precisión Trimble R8.

Figura 24.

Toma GCP



El postproceso de los datos GNSS se realizó en el programa Trimble Business Center (TBC), los puntos se ajustaron utilizando la Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador (REGME), específicamente usando como base la estación “EPEC” localizada en la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE. Se procesaron 5 puntos incluyendo la base que fue ubicada en el complejo Ilaló; los resultados de las coordenadas ajustadas se presentan en el Capítulo IV.

Procesamiento de imágenes térmicas

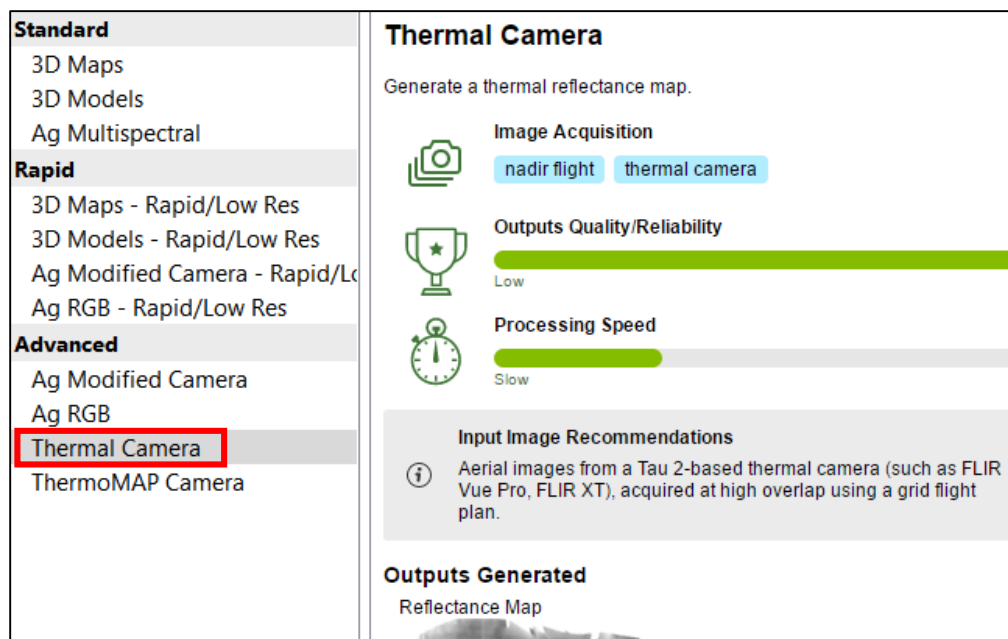
Luego de obtener las imágenes se procedió a realizar el ajuste fotogramétrico mediante el uso del software Pix4D, todo el procedimiento se puede encontrar de forma detallada en el **Anexo B**.

La interfaz del software Pix4D genera automáticamente las orientaciones interna y externa; la orientación externa la realiza a través de los ángulos de rotación de la cámara (yaw, pitch y roll) y centros de foto; la orientación interna mediante los metadatos de la cámara. El programa genera Tie Points por medio de los centros de las imágenes enlazándolas entre sí y permitiendo generar un ortomosaico preliminar, este proceso, en el programa se conoce como: “Procesamiento Inicial”.

Entre las plantillas de procesamiento se utilizó la opción Thermal Camera (ver Figura 25), la misma que permitirá tratar las imágenes térmicas, uno de los objetivos del proyecto.

Figura 25.

Módulo Thermal Camera en Pix4D



Una vez culminado el Procesamiento Inicial, se continúa con el proceso de ortorectificación; para lo cual, se ingresan las coordenadas de los GCP; el software reconoce de manera automática todas las imágenes que contienen los puntos de apoyo, lo que facilita el marcado para georreferenciación sobre ellas; seguido el software generará una nube densa de puntos, y finalmente un ortomosaico de Temperaturas llamado “Mapa de reflectancias” en donde el valor del pixel se asocia al valor de temperatura en ese punto; cuyos resultados se encuentran en el Capítulo IV. El **Anexo B** detalla los procedimientos realizados en el programa.

Cálculo de los valores de Temperatura asociados a las muestras in situ

Se procedió a extraer los valores de los pixeles (valores digitales) de cada mapa de temperatura que coincide espacialmente con los puntos de muestreo tomados en

campo; para llevar a cabo este procedimiento se utilizó la herramienta extract value del software ArcGIS, la cual genera un campo, en donde incluyen los valores de temperatura de los pixeles correspondientes al punto de muestreo. Posteriormente, estos valores fueron exportados a formato .xls, cuyo resultado se ilustra en el capítulo de Resultados.

Análisis Ambiental

Recolección de las muestras

Se aplicó un muestreo no probabilístico por conveniencia o intencional; el cual permite, seleccionar una muestra de manera conveniente; este tipo de muestreo se utiliza en estudios iniciales para: tener un acercamiento a los datos o información previa, también nos permite analizar si la hipótesis planteada se cumple y de esta manera verificar si es viable hacer un estudio probabilístico. (Otzen & Manterola, 2017)

Se tomaron muestra de tipo simple o puntual al ser el método que mejor se ajusta a las zonas de estudio. Este tipo de muestras se caracterizan por no tener efluentes contaminantes, ya que se toman en un sitio determinado y poseen un flujo relativamente constante. (NTE INEN 2176, 2013)

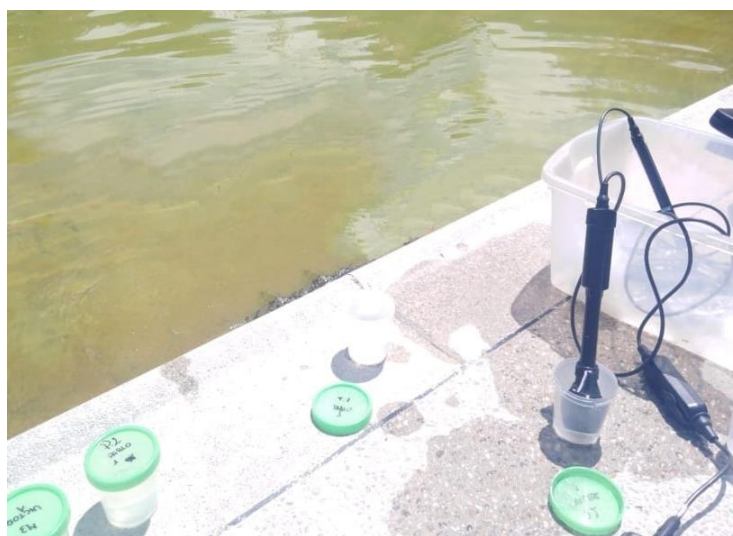
Las muestras de agua que se utilizaron fueron de los complejos: “El Tingo”, donde fueron muestreadas 3 piscinas; “Ilalo”, con 2 piscinas y finalmente, “Rumiloma” con 1 piscina.

Debido a diversos factores como: equipos, disponibilidad de las zonas de estudio, normas del COE Nacional y medidas de bioseguridad; el muestreo se realizó en dos días; el primero fue el día miércoles 8 de julio del 2020 y el segundo el día viernes 24 de julio del 2020.

Las muestras fueron recolectadas en frascos plásticos de 100 ml, las cuales fueron etiquetadas correctamente para su identificación, luego se almacenaron en un cooler de espuma flex y finalmente, se transportaron estas al Centro de Nanociencia y Nanotecnología (CENCINAT) ubicado en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. El procedimiento se llevó a cabo aplicando la norma técnica ecuatoriana (NTE INEN 2169, 2013) para calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras.

Figura 26.

Toma de la muestra déjenlos



Medición de los parámetros físico químicos in situ

Se efectuó la recolección de varios datos físico-químicos de las muestras de agua, como: temperatura, potencial hidrógeno (pH), conductividad y oxígeno disuelto. Para la determinación de estos parámetros se utilizó el equipo multiparamétrico HQ30d, cuyas especificaciones las podemos encontrar en el apartado 2.15 y los resultados se presentan en el Capítulo IV. A continuación, se describen los procedimientos realizados en cada parámetro:

- **Temperatura**

La determinación de este parámetro se utilizó la metodología 2550 del Standard Methods for the Examination of water and wastewater (APHA, 2017); se procedió a introducir directamente el equipo sobre los cuerpos de agua de los cuales se desea conocer el valor de temperatura, el resultado se lo visualiza en la pantalla del equipo con una o dos cifras decimales.

- **Potencial hidrógeno (pH)**

Para obtener el valor del pH se empleó la metodología 4500-H⁺ B del Standard Methods for the Examination of water and wastewater (APHA, 2017); el equipo multiparamétrico contiene una sonda específica de medición, previo a la salida de campo el equipo fue correctamente calibrado a través de los buffer con pH 4, 7 y 9.

- **Conductividad**

En la determinación de este parámetro se utilizó la metodología 2510 del Standard Methods for the Examination of water and wastewater (APHA, 2017); en este procedimiento se utilizó una determinada sonda, la cual fue calibrada a través de una solución estándar con el fin de obtener datos más precisos.

- **Oxígeno disuelto**

El establecimiento de oxígeno disuelto se empleó la metodología 4500-O G del Standard Methods for the Examination of water and wastewater (APHA, 2017), al igual que con los otros parámetros se calibró previamente el equipo con la sonda específica para este procedimiento.

Análisis de arsénico

La concentración de arsénico se la determinó mediante la metodología 3500-As B, sección 3114-C, del Standard Methods for the Examination of water and wastewater (APHA, 2017); para establecer la concentración de arsénico de las muestras se debe realizar un tratamiento previo, el cual se detalla a continuación: en los tubos de ensayo se colocó 1 ml de la muestra de agua, seguido se añadió 1 ml de una solución compuesta por ácido ascórbico (5%); más yoduro de potasio (5%) y 1 ml de ácido clorhídrico concentrado; hecho esto, se esperó un tiempo de 45 minutos para que las sustancias reaccionen; y finalmente, se agregó 7 ml de agua destilada.

Figura 27.

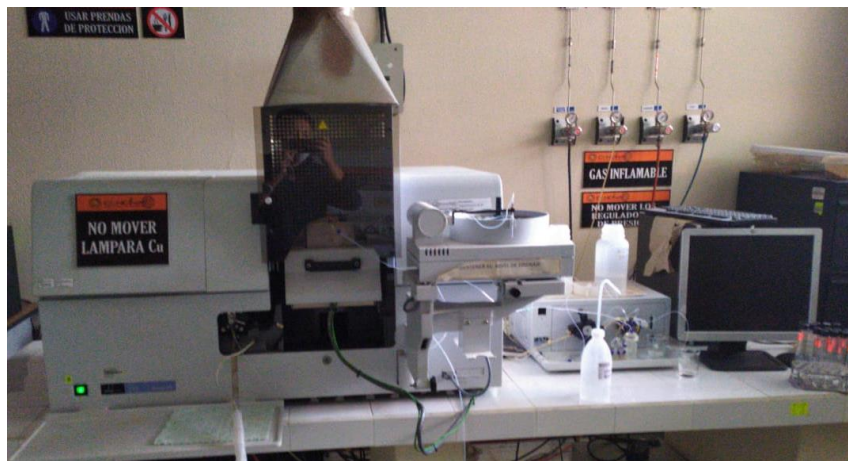
Tratamiento de muestras de arsénico



Para determinar las concentraciones de arsénico de las muestras tratadas se utiliza el equipo de espectroscopia de absorción atómica (EAA), Perkin Elmer AAnalyst 800; en el cual se empleará el sistema de inyección FIAS (Figura 28). Los resultados y sus análisis se muestran en el Capítulo IV.

Figura 28.

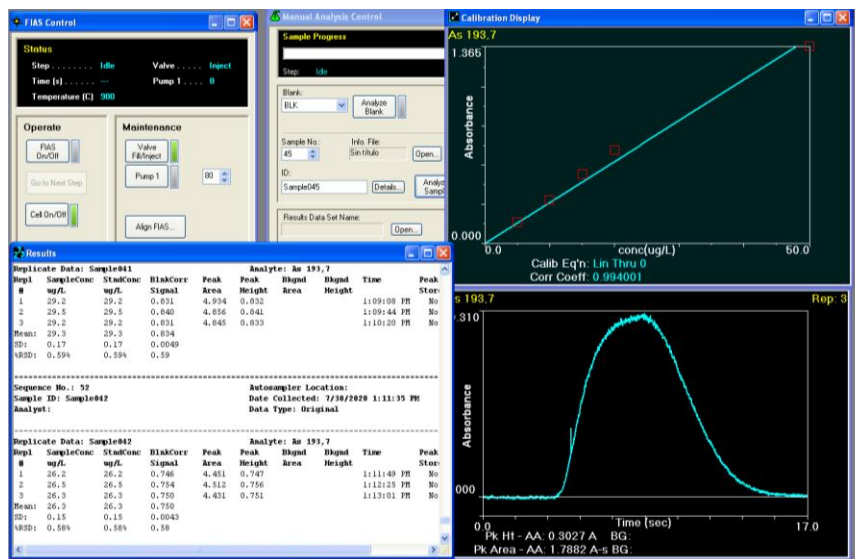
Equipo de espectroscopia de absorción atómica



A continuación, la Figura 29 presenta los gráficos de calibración y adicionalmente se muestran los resultados de la concentración de arsénico determinada por el equipo.

Figura 29.

Lecturas de arsénico



Análisis Estadístico

Recopilación y generación de una base de datos

Al obtener los valores de: Temperatura obtenida con la sonda del multiparamétrico HQ30d (T° sonda); Temperatura obtenida en el ortomosaico de temperatura “mapa de reflectancia” generado en Pix4d (T° dron) y las concentraciones de Arsénico determinadas en el laboratorio, se procedió a agrupar estos valores y posteriormente a crear una base de datos en Microsoft Excel.

Esta base de datos muestra una estructura con varios campos como: número de muestras; coordenadas con su respectivo sistema de referencia, WGS84, UTM, zona 17 sur, ESTE (m), NORTE (m) y ELEVACIÓN (m); T° sonda en $^{\circ}\text{C}$; T° dron en $^{\circ}\text{C}$, Diferencia T° y la concentración de arsénico en $\mu\text{g/L}$ (ppb); la base de datos se la presenta en el capítulo de Resultados (Tabla 19) y en base a esta se realizan los análisis exploratorios y el análisis de correlación.

Análisis exploratorio de datos

Se determinarán algunas medidas estadísticas básicas como: media, moda, mediana, desviación estándar, rango, número de datos, valor máximo y valor mínimo; para generar los estadísticos se utilizó el comando summary del software Rstudio, este comando efectúa el análisis exploratorio de los datos y muestra los resultados en su interfaz; la interpretación se presenta en el Capítulo IV.

Adicionalmente se construye un diagrama de dispersión con la finalidad de ver la distribución de los datos e identificar la posible relación de las variables; para llevar a cabo este proceso, se utilizaron los códigos: plot (x, y), el cual genera la gráfica de nube de puntos y abline(lm(y ~ x)) para graficar la recta de regresión.

Estos análisis se realizaron para los siguientes grupos de datos obtenidos del estudio:

- Temperatura obtenida con la sonda del multiparamétrico HQ30d (T^osonda)
- Temperatura obtenida en el ortomosaico de temperatura “mapa de reflectancia” generado en Pix4d (T^odron).
- Diferencia de temperatura (Diferencia T^o)
- Cantidad de Arsénico Total (Arsénico)

Correlación de Pearson

Este análisis proporcionará el grado de intensidad en que se encuentran relacionadas las variables de estudio, para conocer la dependencia o independencia entre estas.

Para este estudio se realizaron dos comparaciones:

- Correlación 1: Temperatura obtenida con la sonda del multiparamétrico HQ30d (T^osonda) vs Temperatura obtenida del mapa de reflectancia generado en Pix4d (T^odron).
- Correlación 2: Temperatura obtenida del mapa del mapa de reflectancia generado en Pix4D (T^odron) vs Cantidad de Arsénico Total (Arsénico)

Finalmente, se utilizó el software Rstudio en donde se empleó el comando `cor.test(x,y)` el cual nos permitió obtener los coeficientes de correlación de Pearson (ver Figura 30). Los valores de este coeficiente y su discusión se encuentran detallados en el Capítulo IV.

Figura 30.*Coefficiente de correlación de Pearson en RStudio*

```
2 library(readxl)#leer datos excel
3 library(lmtest)#regresion
4 library(car)#graficas
5 library(caret)#graficas
6 library(corrplot)
7
8 datos1<-read_excel("datos tesis.xlsx")
9 datos1
10 summary(datos1)
11
12
13 plot(datos1$`Tº dron`,datos1$Arsenico,main="Grafica de Dispersion",xlab = "Arsenico",ylab = "Temperatura")
14 abline(regre)
15
16
17 # para los valores residuales #para ver los datos que no sirven
18 plot(lm(Arsenico~`Tº dron`,data = datos1))
19
20
21 #coeficiente de correlacion de pearson
22 cor.test(datos1$`Tº dron`, datos1$Arsenico)
23
24 # analisis de correlacion
25 library(psych)
26 pairs.panels(datos1[c(4,5)],main="Coeficiente de Pearson Arsenico")
```

Capítulo IV

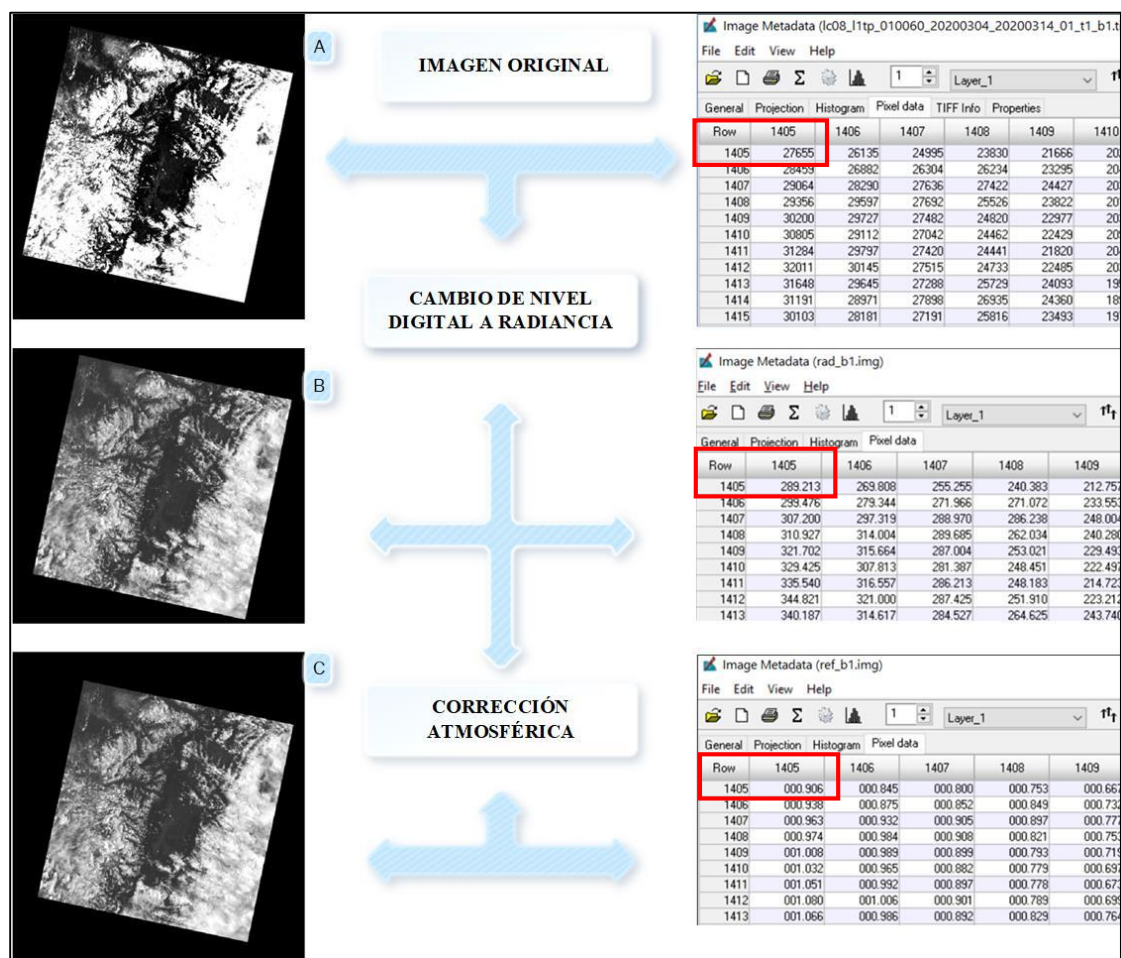
Resultados

Resultado de la corrección radiométrica de las bandas multispectrales ópticas

En la Figura 31 se observa un ejemplo de las correcciones resultantes en la banda 1; en la cual se comparan los ND con los resultados de la radiancia espectral y corrección atmosférica en las imágenes correspondientes.

Figura 31.

Resultados de la Corrección Radiométrica de la Banda 1



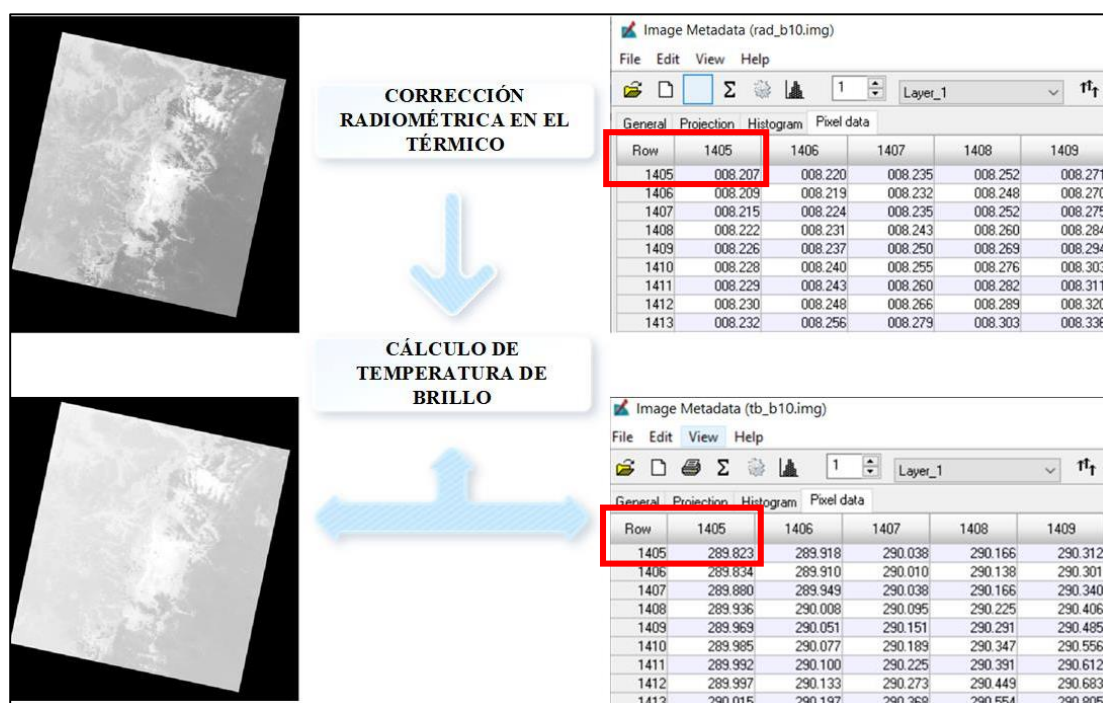
Se tomó como referencia la fila y columna 1405 y sus correspondientes, en los recuadros se observan: en el ítem A, que contiene ND originales de la imagen; en el ítem B el valor de la radiancia espectral ($\frac{Watts}{m^2 * Sr * \mu m}$) y finalmente, el ítem C, el valor de reflectancia de la corrección atmosférica (adimensional).

Resultado de la radiancia en la banda térmica y cálculo de temperatura de brillo

En la Figura 32 se visualizan los cálculos resultantes de la radiancia espectral ($\frac{Watts}{m^2 * Sr * \mu m}$) y el valor de la temperatura de brillo (K) de la Banda 10; de igual manera se hace referencia a la fila y columna 1405 correspondiente en cada imagen.

Figura 32.

Resultado del Cálculo de Temperatura Banda 10

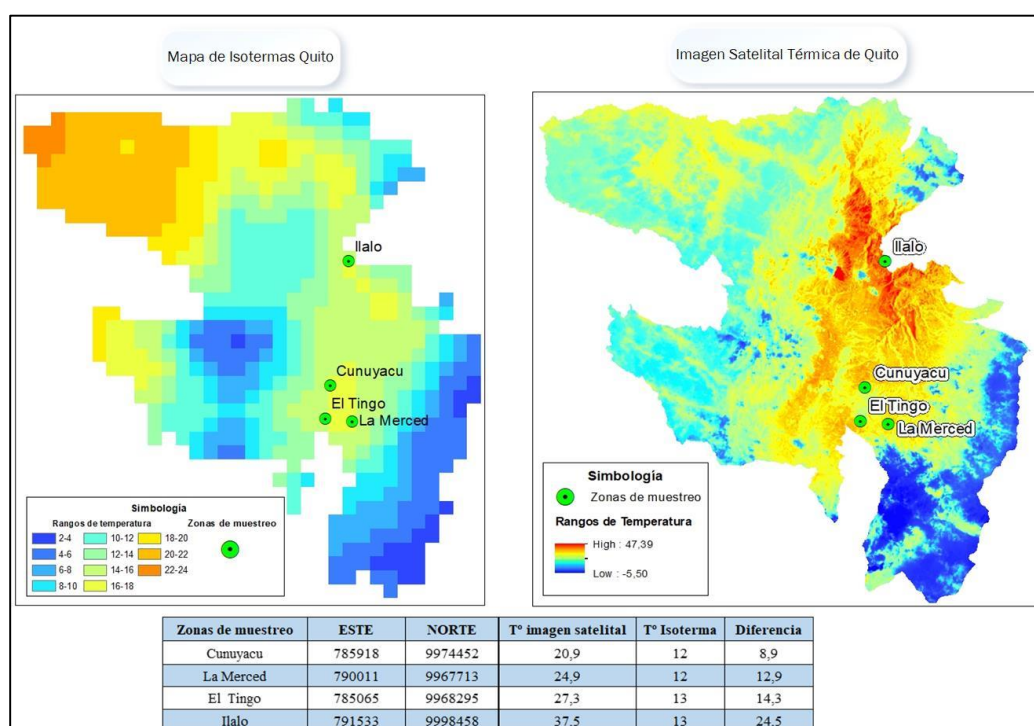


Resultado de la comparación entre temperatura de la banda térmica vs isotermas

A continuación, en la Figura 33 se visualizan los valores de temperatura de la imagen satelital y del mapa de isotermas, en las distintas zonas de muestreo.

Figura 33.

Resultado de la Comparación Imagen Satelital y Mapa de Isotermas



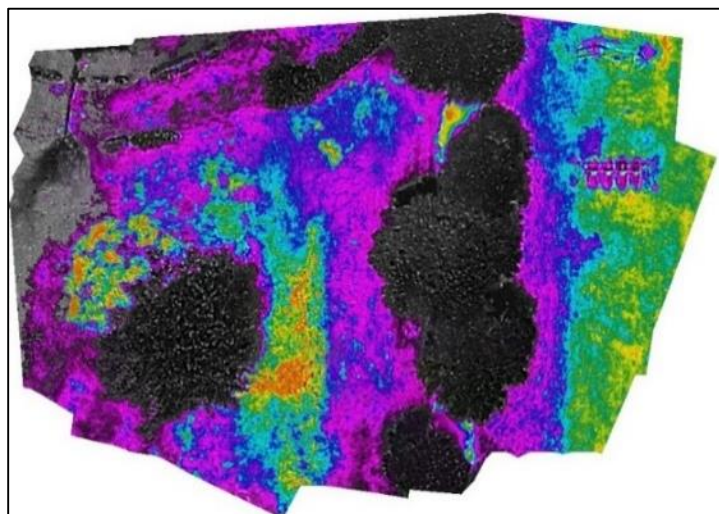
Como se puede ver existen diferencias muy significativas en las temperaturas, entre las razones más importantes para que se produzcan estas variaciones son: el tamaño del pixel, la escala del mapa, la resolución de las imágenes, etc. En el mapa de isotermas es mucho más grande el tamaño del pixel; por lo cual, incluye una mayor asociación de objetos, en relación al tamaño de pixel de la imagen satelital; otro factor es la temporalidad de los datos ya que la imagen satelital corresponde al año 2020 y el mapa de isotermas al año 2008.

Resultados ortomosaicos térmicos de prueba

A continuación, se presentan los resultados de los procesamientos de las imágenes obtenidas con la cámara Zenmuse XT2 y el dron Matrice 600 Pro, donde se trabajó con diferentes traslapos, los cuales se detallaron en la Tabla 9. En la Figura 34 se muestra el ortomosaico generado con un traslapo de 70% - 70%, tanto longitudinal como transversal, en el cual es imposible identificar objetos.

Figura 34.

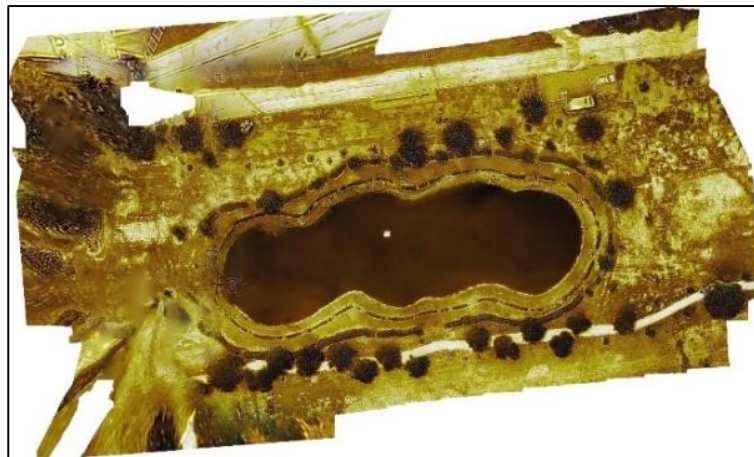
Ortomosaico con traslapo 70%-70%



Posteriormente, se llevó a cabo un vuelo modificando los traslapos longitudinal y transversal a 80%-80%. La Figura 35 muestra el resultado obtenido del procesamiento de las imágenes, en comparación con la Figura 34 los resultados son mejores ya que se logra distinguir la laguna del Parque Bicentenario, sin embargo, existen distorsiones en la parte izquierda del ortomosaico.

Figura 35.

Ortomosaico con traslapo 80%-80%



Finalmente, se realizó una última prueba variando los traslapos transversal y longitudinal a 90%-90% respectivamente, en la Figura 36 se visualiza la imagen del ortomosaico resultante; en este caso, los detalles de los objetos, como la laguna, se distinguen claramente con respecto a los que se obtuvieron anteriormente.

Figura 36.

Ortomosaico con traslapo 90%-90%



Resultados relacionados con las imágenes UAV y GNSS

Resultados del procesamiento de los puntos de apoyo fotogramétrico

El resultado obtenido del postproceso se lo puede visualizar en la Tabla 11, se muestra el elenco de coordenadas de los 5 puntos de control con sus respectivas precisiones.

Tabla 11.

Coordenadas de los puntos de apoyo fotogramétrico y sus precisiones

Nombre	Este (m)	Norte (m)	Altura elipsoidal (m)	Precisión Horizontal (m)	Precisión Vertical (m)
Base	791487,831	9968392,692	2566,611	0,002	0,001
Punto 1	791427,278	9968268,514	2572,254	0,003	0,002
Punto 2	791486,061	9968251,873	2576,033	0,003	0,002
Punto 3	791542,346	9968482,518	2562,996	0,001	0,001
Punto 4	791606,161	9968445,803	2565,634	0,002	0,002

Resultados de los ortomosaicos

En las figuras que se muestran a continuación, se presentan los resultados de los procesamientos de las imágenes obtenidas con el UAV y la cámara térmica; visualmente se nota que no existen distorsiones en los ortomosaicos generados; adicionalmente, se pueden diferenciar o discernir claramente los objetos representados en la imagen.

Una vez generados los ortomosaicos de temperatura, se obtienen los “mapas de reflectancia” en los cuales los valores de los pixeles reflejarán la temperatura en el punto que se desea. En las Figuras: 37, 38 y 39, se señalan los puntos donde se realizarán la toma de muestras in-situ y la medición de parámetros físico-químicos.

Figura 37.

Mapa de Temperaturas "Complejo El Tingo"

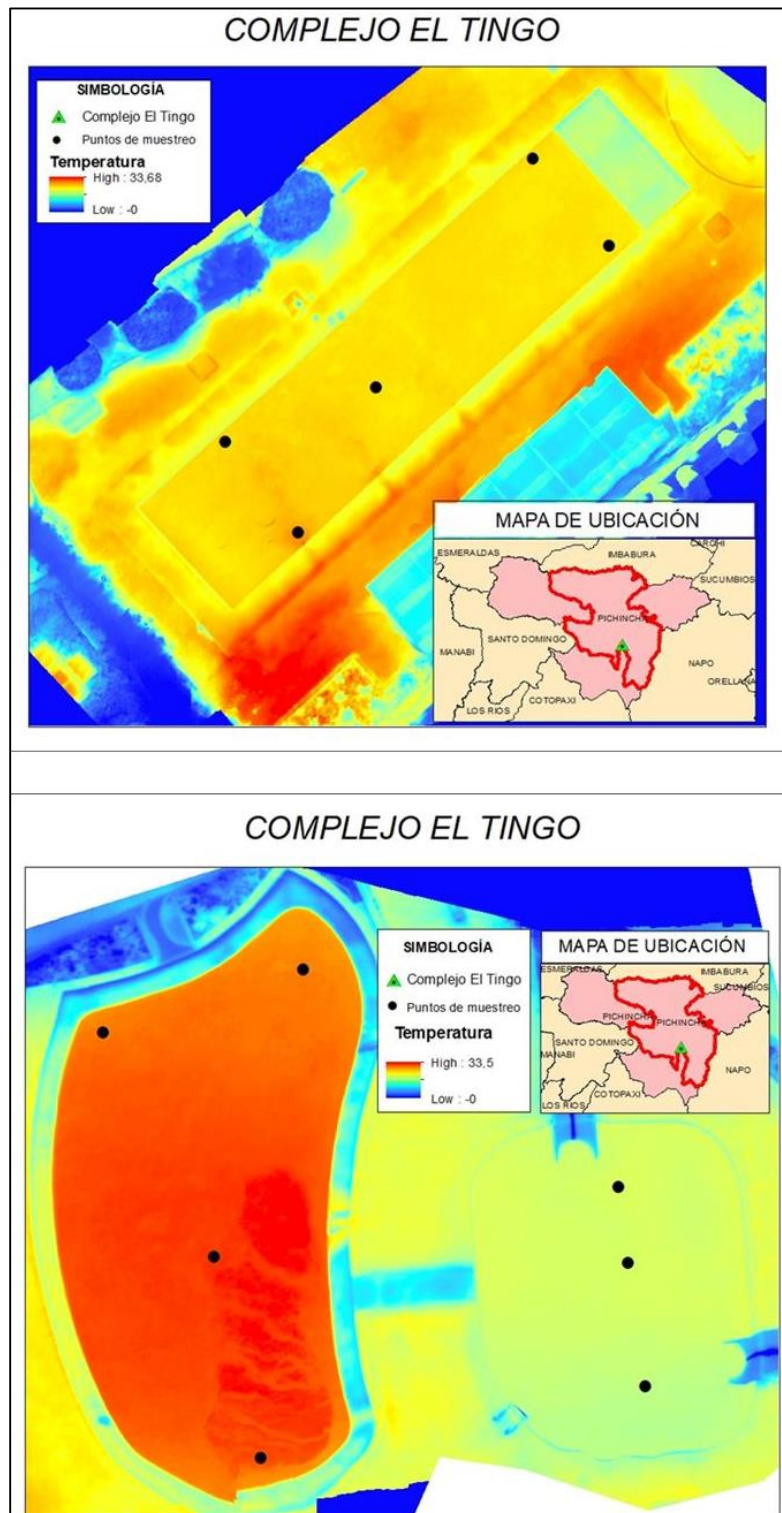


Figura 38.

Mapa de Temperaturas "Complejo Ilalo"

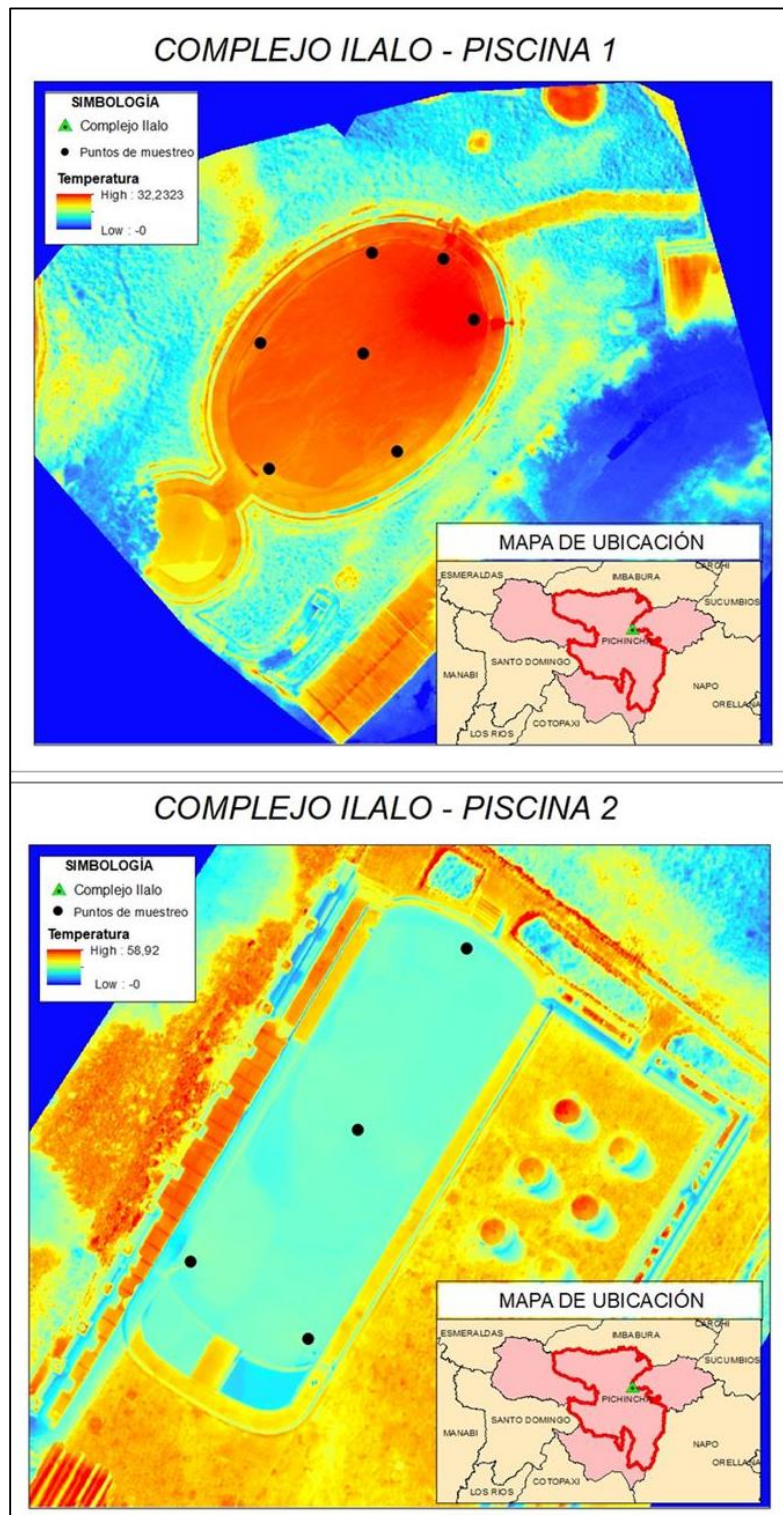
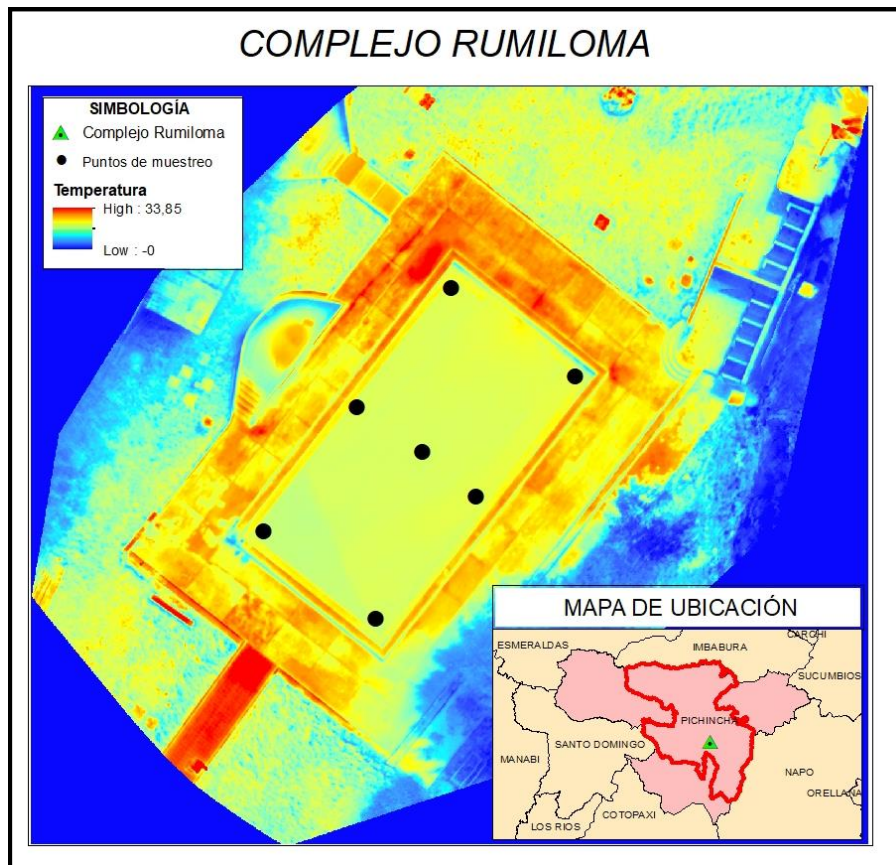


Figura 39.

Mapa de Temperaturas "Complejo Rumiloma"



Resultado de los valores del ortomosaico de temperaturas en los puntos de muestreo

En la Tabla 12 se visualizan los resultados de los valores que se extrajeron de los ortomosaicos de temperaturas. El campo "T° dron" señala el valor de la temperatura en ese punto.

Tabla 12.

Valores de T° en los puntos de muestreo obtenidos de los mapas de Reflectancia

Ubicación	Etiqueta	ESTE	NORTE	ELEVACION	T° dron
		791492,160	9968363,641	2541,659	28,9
		791488,913	9968363,932	2542,237	28,5
		791493,546	9968360,868	2540,537	30,18
	Piscina 1 vuelo 1	791490,044	9968354,849	2540,804	26,5
		791483,806	9968359,810	2543,337	27,3
		791484,207	9968354,046	2541,171	26,5
		791488,512	9968359,300	2542,354	28,2
		791492,441	9968362,254	2541,635	29,2
		791488,464	9968362,656	2542,698	28,5
Complejo Ilalo		791493,692	9968359,081	2540,645	28,6
	Piscina 1 vuelo 2	791488,877	9968352,368	2541,754	25,3
		791482,711	9968357,439	2541,359	27,6
		791483,550	9968352,587	2540,687	25,3
		791488,585	9968357,512	2542,351	28,3
		791526,369	9968460,485	2536,204	30,2
	Piscina 2	791519,193	9968465,184	2537,104	30,2
		791529,365	9968473,223	2538,056	29,7
		791535,970	9968484,283	2537,159	29,6
		783566,582	9970904,606	2377,882	17,4
		783572,594	9970899,992	2379,415	17,9
		783571,578	9970911,252	2370,482	18,1
Complejo Rumiloma	Piscina 1	783577,928	9970906,469	2372,182	18,3
		783576,573	9970917,602	2372,782	18,3
		783583,219	9970912,903	2371,582	18,4
		783575,049	9970908,839	2374,382	17,9
		785061,856	9968320,122	2451,623	29,1
		785059,076	9968323,596	2452,652	27,1
	Piscina 1	785064,825	9968325,681	2451,632	26,9
		785070,826	9968334,462	2450,852	26,9
		785073,732	9968331,114	2450,758	26,8
		785041,988	9968352,856	2452,485	24,1
Complejo Tingo	Piscina 2	785041,512	9968356,253	2452,623	24,9
		785041,258	9968358,350	2451,465	25,4
		785031,415	9968350,887	2450,326	31,7
		785030,145	9968356,412	2451,412	32,1
	Piscina 3	785027,097	9968362,603	2451,265	30,6
		785032,590	9968364,349	2452,357	30,2

Nota; En donde: Ubicación es, el nombre del complejo; etiqueta, carácter para diferenciar las muestras

El sistema de referencia de las coordenadas es WGS84, UTM, zona 17 sur.

Resultados del análisis ambiental

En esta sección se mostrarán los resultados obtenidos de los parámetros físico-químicos analizados en campo (in situ) y laboratorio, de las muestras de agua recolectadas en las zonas de estudio.

Resultados parámetros "in situ"

A continuación, en las tablas: 13, 14 y 15 se muestra el resumen del análisis de los parámetros físico-químicos "in situ" en las zonas de muestreo.

Tabla 13.

Parámetros "in situ" Complejo Ilaló

Ubicación	Etiqueta	ESTE	NORTE	ELEVACION	Temperatura °C	pH	CONDUCTIVIDAD us/cm	Oxígeno Disuelto %
		791492,160	9968363,641	2541,659	30,8	7,9	1316	100,8
		791488,913	9968363,932	2542,237	31,4	7,94	1252	90,5
		791493,546	9968360,868	2540,537	30,7	7,77	1246	91,7
	Piscina 1 vuelo 1	791490,044	9968354,849	2540,804	30,2	7,83	1230	94,2
		791483,806	9968359,810	2543,337	29,9	7,87	1233	98,9
		791484,207	9968354,046	2541,171	29,6	7,89	1225	97,9
		791488,512	9968359,300	2542,354	29,4	7,84	1216	97,8
		791492,441	9968362,254	2541,635	32,1	7,84	1384	96,8
		791488,464	9968362,656	2542,698	29,4	7,79	1392	93,9
	Complejo Ilalo	791493,692	9968359,081	2540,645	28,8	7,94	1362	95,7
	Piscina 1 vuelo 2	791488,877	9968352,368	2541,754	27,1	7,96	1343	95,8
		791482,711	9968357,439	2541,359	28,9	7,96	1357	94,5
		791483,550	9968352,587	2540,687	29,2	7,96	1348	94
		791488,585	9968357,512	2542,351	29,9	7,95	1361	93,3
		791526,369	9968460,485	2536,204	33	7,69	1288	93,4
	Piscina 2	791519,193	9968465,184	2537,104	30,8	6,98	1245	91
		791529,365	9968473,223	2538,056	31,6	7,9	1267	95,6
		791535,970	9968484,283	2537,159	31,7	7,88	1263	98,8
			Promedio		30,25	7,83	1296	95,26

Nota; En donde: Ubicación es, el nombre del complejo; etiqueta, carácter para diferenciar las muestras

El sistema de referencia de las coordenadas es WGS84, UTM, zona 17 sur.

Tabla 14.*Parámetros "in situ" Complejo Rumiloma*

Ubicación	Etiqueta	ESTE	NORTE	ELEVACION	Temperatura °C	pH	CONDUCTIVIDAD us/cm	Oxígeno Disuelto %
Complejo Rumiloma	Piscina 1	783566,582	9970904,606	2377,882	26,4	8,42	750	86,8
		783572,594	9970899,992	2379,415	26	8,46	707	84,9
		783571,578	9970911,252	2370,482	24,1	8,52	669	89,6
		783577,928	9970906,469	2372,182	24,1	8,49	673	87
		783576,573	9970917,602	2372,782	23,9	8,51	667	85,9
		783583,219	9970912,903	2371,582	24,4	8,56	672	84,4
		783575,049	9970908,839	2374,382	24,4	8,55	675	89,8
		Promedio			24,76	8,50	687,57	86,91

Nota; En donde: Ubicación es, el nombre del complejo; etiqueta, carácter para diferenciar las muestras

El sistema de referencia de las coordenadas es WGS84, UTM, zona 17 sur.

Tabla 15.*Parámetros "in situ" Complejo El Tingo*

Ubicación	Etiqueta	ESTE	NORTE	ELEVACION	Temperatura °C	pH	CONDUCTIVIDAD us/cm	Oxígeno Disuelto %
Complejo Tingo	Piscina 1	785061,856	9968320,122	2451,623	32,8	7,61	2186	25,9
		785059,076	9968323,596	2452,652	30,2	7,85	1886	67,3
		785064,825	9968325,681	2451,632	30,5	7,86	1923	67,7
		785070,826	9968334,462	2450,852	30,4	7,85	1932	66,1
		785073,732	9968331,114	2450,758	30,6	7,89	1886	68,2
	Piscina 2	785041,988	9968352,856	2452,485	30,7	8,58	2165	97,9
		785041,512	9968356,253	2452,623	30,7	8,63	2118	96,1
		785041,258	9968358,350	2451,465	30,2	8,63	2100	95,7
		785031,415	9968350,887	2450,326	32,9	8,31	2320	97,9
	Piscina 3	785030,145	9968356,412	2451,412	32,3	8,33	2360	96,2
		785027,097	9968362,603	2451,265	32,2	8,38	2300	95,9
		785032,590	9968364,349	2452,357	30,7	8,38	2270	94,5
		Promedio			31,18	8,19	2120,5	80,78

Nota; En donde: Ubicación es, el nombre del complejo; etiqueta, carácter para diferenciar las muestras

El sistema de referencia de las coordenadas es WGS84, UTM, zona 17 sur.

- Análisis de los resultados de Temperatura**

En las zonas de estudio los promedios son de: Complejo Ilaló 30.25 °C, Complejo Rumiloma 24.76 °C y Complejo El Tingo 31.18 °C; por lo tanto, estos valores

están dentro de los límites máximos permisibles determinados en la Tabla 19 del (Acuerdo Ministerial 097-A, 2018) que es de <35 °C.

- **Análisis de los resultados de pH**

Los promedios de los datos de este parámetro son: Complejo Ilaló 7.83, Complejo Rumiloma 8.5 y Complejo El Tingo 8.19; el rango establecido según la Tabla 6 del Acuerdo Ministerial 097-A es de 6.5 – 8.3 por lo cual los valores de pH están dentro de los límites establecidos.

- **Análisis de los resultados de Conductividad**

En cuanto a la conductividad se registraron valores promedios de: Complejo Ilaló 1296 $\mu\text{s/cm}$, Complejo Rumiloma 687.57 $\mu\text{s/cm}$ y Complejo El Tingo 2120.5 $\mu\text{s/cm}$; De acuerdo a Vizcaíno (2009), “en el Ecuador no existe una norma que determine los límites máximos permisibles de conductividad en aguas superficiales”, con lo cual, hace referencia al Reglamento Técnico Sanitaria-Españaz (RTS), donde señala: “que el valor mínimo de conductividad es de 400 $\mu\text{s/cm}$ y el máximo de 1.500 $\mu\text{s/cm}$ ”; por lo tanto, los valores de conductividad del Complejo El Tingo están fuera del rango; debido a que existe una relación directamente proporcional entre la T° y la conductividad; se puede decir, que es por esta razón que presenta un valor más elevado al resto de complejos; ya que, en este sitio de estudio se registran los valores temperatura más altos.

- **Análisis de los resultados de Oxígeno disuelto (OD)**

Los valores promedio de oxígeno disuelto son los siguientes: Complejo Ilaló 95.26%, Complejo Rumiloma 86.91% y Complejo El Tingo 80.78%; según la Tabla 6 del Acuerdo Ministerial 097-A este parámetro debe ser mayor al 80%; en las zonas de estudio, todos los valores cumplen con el criterio que señala la norma.

Concentración de arsénico

En las Tablas: 16, 17 y 18 se presentan los resultados obtenidos de la determinación de la concentración de arsénico (As).

Tabla 16.

Concentración de As - Complejo Ilaló

Ubicación	Etiqueta	ESTE	NORTE	ELEVACION	ARSÉNICO ppb ($\mu\text{g/L}$)	
Complejo Ilalo	Piscina 1 vuelo 1	791492,160	9968363,641	2541,659	28,7	
		791488,913	9968363,932	2542,237	28,3	
		791493,546	9968360,868	2540,537	30,3	
		791490,044	9968354,849	2540,804	25,6	
		791483,806	9968359,810	2543,337	25,8	
		791484,207	9968354,046	2541,171	28,4	
		791488,512	9968359,300	2542,354	31,5	
		791492,441	9968362,254	2541,635	29,5	
	Piscina 1 vuelo 2	791488,464	9968362,656	2542,698	29,4	
		791493,692	9968359,081	2540,645	31,2	
		791488,877	9968352,368	2541,754	26,4	
		791482,711	9968357,439	2541,359	26,7	
		791483,550	9968352,587	2540,687	29,2	
		791488,585	9968357,512	2542,351	31,2	
		791526,369	9968460,485	2536,204	31,2	
		Piscina 2	791519,193	9968465,184	2537,104	29,3
	791529,365		9968473,223	2538,056	26,3	
	791535,970		9968484,283	2537,159	27,6	
	Promedio					28,70

Nota; En donde: Ubicación es, el nombre del complejo; etiqueta, carácter para diferenciar las muestras; ppb es, partes por billón ($\mu\text{g/L}$).

El sistema de referencia de las coordenadas es WGS84, UTM, zona 17 sur.

Tabla 17.*Concentración de As - Complejo Rumiloma*

Ubicación	Etiqueta	ESTE	NORTE	ELEVACION	ARSÉNICO ppb ($\mu\text{g/L}$)
Complejo Rumiloma	Piscina 1	783566,582	9970904,606	2377,882	1,2
		783572,594	9970899,992	2379,415	2,4
		783571,578	9970911,252	2370,482	1,86
		783577,928	9970906,469	2372,182	1,55
		783576,573	9970917,602	2372,782	1,81
		783583,219	9970912,903	2371,582	1,59
		783575,049	9970908,839	2374,382	1,3
		Promedio			

Nota; En donde: Ubicación es, el nombre del complejo; etiqueta, carácter para diferenciar las muestras; ppb es, partes por billón ($\mu\text{g/L}$).

El sistema de referencia de las coordenadas es WGS84, UTM, zona 17 sur.

Tabla 18.*Concentración de As – Complejo El Tingo*

Ubicación	Etiqueta	ESTE	NORTE	ELEVACION	ARSÉNICO ppb ($\mu\text{g/L}$)
Complejo Tingo	Piscina 1	785061,856	9968320,122	2451,623	13,1
		785059,076	9968323,596	2452,652	12,6
		785064,825	9968325,681	2451,632	11,2
		785070,826	9968334,462	2450,852	10,6
	Piscina 2	785073,732	9968331,114	2450,758	10,9
		785041,988	9968352,856	2452,485	10,8
		785041,512	9968356,253	2452,623	10
		785041,258	9968358,350	2451,465	11,4
		785031,415	9968350,887	2450,326	13,3
		785030,145	9968356,412	2451,412	11,7
	Piscina 3	785027,097	9968362,603	2451,265	12,6
		785032,590	9968364,349	2452,357	11,8
	Promedio				11,67

Nota; En donde: Ubicación es, el nombre del complejo; etiqueta, carácter para diferenciar las muestras; ppb es, partes por billón ($\mu\text{g/L}$).

Los resultados obtenidos de la concentración de arsénico, se compararán con el Acuerdo Ministerial 097-A Reforma Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente, Libro VI; la Tabla 4 determina los rangos de los límites máximos permisibles de concentración de arsénico, en las áreas de estudio los valores de concentración de arsénico son pequeños, por lo tanto, cumplen con la normativa

Resultados del análisis estadístico

A continuación, en la Tabla 19 se presenta el conjunto de datos obtenidos, que posteriormente serán analizados.

Tabla 19.

Conjunto de datos para el análisis

Muestra	ESTE	NORTE	ELEVACION	T° sonda °C	T° dron °C	Diferencia T°	ARSÉNICO ppb
1	791492,160	9968363,641	2541,659	30,8	28,9	1,9	28,7
2	791488,913	9968363,932	2542,237	31,4	28,5	2,9	28,3
3	791493,546	9968360,868	2540,537	30,7	30,18	0,52	30,3
4	791490,044	9968354,849	2540,804	30,2	26,5	3,7	25,6
5	791483,806	9968359,810	2543,337	29,9	27,3	2,6	25,8
6	791484,207	9968354,046	2541,171	29,6	26,5	3,1	28,4
7	791488,512	9968359,300	2542,354	29,4	28,2	1,2	31,5
8	791492,441	9968362,254	2541,635	32,1	29,2	2,9	29,5
9	791488,464	9968362,656	2542,698	29,4	28,5	0,9	29,4
10	791493,692	9968359,081	2540,645	28,8	28,6	0,2	31,2
11	791488,877	9968352,368	2541,754	27,1	25,3	1,8	26,4
12	791482,711	9968357,439	2541,359	28,9	27,6	1,3	26,7
13	791483,550	9968352,587	2540,687	29,2	25,3	3,9	29,2
14	791488,585	9968357,512	2542,351	29,9	28,3	1,6	31,2
15	791526,369	9968460,485	2536,204	33	30,2	2,8	31,2
16	791519,193	9968465,184	2537,104	30,8	30,2	0,6	29,3
17	791529,365	9968473,223	2538,056	31,6	29,7	1,9	26,3
18	791535,970	9968484,283	2537,159	31,7	29,6	2,1	27,6
19	783566,582	9970904,606	2377,882	26,4	17,4	9	1,2
20	783572,594	9970899,992	2379,415	26	17,9	8,1	2,4
21	783571,578	9970911,252	2370,482	24,1	18,1	6	1,86
22	783577,928	9970906,469	2372,182	24,1	18,3	5,8	1,55
23	783576,573	9970917,602	2372,782	23,9	18,3	5,6	1,81
24	783583,219	9970912,903	2371,582	24,4	18,4	6	1,59
25	783575,049	9970908,839	2374,382	24,4	17,9	6,5	1,3

Muestra	ESTE	NORTE	ELEVACION	T° sonda °C	T° dron °C	Diferencia T°	ARSÉNICO ppb
26	785061,856	9968320,122	2451,623	32,8	29,1	3,7	13,1
27	785059,076	9968323,596	2452,652	30,2	27,1	3,1	12,6
28	785064,825	9968325,681	2451,632	30,5	26,9	3,6	11,2
29	785070,826	9968334,462	2450,852	30,4	26,9	3,5	10,6
30	785073,732	9968331,114	2450,758	30,6	26,8	3,8	10,9
31	785041,988	9968352,856	2452,485	30,7	24,1	6,6	10,8
32	785041,512	9968356,253	2452,623	30,7	24,9	5,8	10
33	785041,258	9968358,350	2451,465	30,2	25,4	4,8	11,4
34	785031,415	9968350,887	2450,326	32,9	31,7	1,2	13,3
35	785030,145	9968356,412	2451,412	32,3	32,1	0,2	11,7
36	785027,097	9968362,603	2451,265	32,2	30,6	1,6	12,6
37	785032,590	9968364,349	2452,357	30,7	30,2	0,5	11,8

Nota: En donde: Muestra, representa el total de las muestras: Diferencia T°, es la diferencia entre T° sonda y T° dron.

El sistema de referencia de las coordenadas es WGS84, UTM, zona 17 sur.

Resultados de los análisis exploratorios

- **Análisis exploratorio T° dron**

En la Tabla 20 se visualizan los estadísticos resultantes de las 37 muestras de Temperatura obtenidos del “Mapa de Reflectancia”.

Tabla 20.

Resumen estadístico T° dron

<i>T° dron</i>	
Media	26,23
Mediana	27,3
Moda	30,2
Desviación estándar	4,42
Rango	14,7
Mínimo	17,4
Máximo	32,1
Cuenta	37

En los resultados de los estadísticos para T° dron se puede visualizar que el valor mínimo es de 17.4 el cual corresponde al Complejo Rumiloma que es donde se

registraron las temperaturas más bajas, en relación a los complejos Ilaló y El Tingo presentaron valores de Temperatura superiores al valor mínimo; por otro lado, con respecto a las medidas de tendencia central (media y mediana) toman valores cercanos, por lo cual, se puede decir que los datos tienen una distribución normal.

- **Análisis exploratorio T° sonda**

Los estadísticos de los valores de Temperatura obtenidos directamente a través del multiparamétrico HQ30d, se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21.

Resumen estadístico T° sonda

<i>T° sonda</i>	
Media	29,51
Mediana	30,2
Moda	30,7
Desviación estándar	2,65
Rango	9,1
Mínimo	23,9
Máximo	33
Cuenta	37

La Tabla 21 indica que: al igual que el conjunto de datos anterior, los valores de la media y mediana se encuentran muy próximos, determinando con esto que tienden a una distribución normal; adicionalmente, el valor mínimo de Temperatura (23.9 °C) registrado corresponde al Complejo Rumiloma, con lo cual corroboramos que las temperaturas más bajas se presentan en esta zona de estudio, mientras que, las temperaturas más altas en los complejos El Tingo e Ilaló.

- **Análisis exploratorio de la diferencia de temperaturas**

La Tabla 22 presenta los estadísticos de los valores de Diferencia de Temperaturas, obtenidos de la resta entre T° sonda con T° dron.

Tabla 22.*Resumen estadístico Diferencia de T°*

<i>Diferencia T°</i>	
Media	3,28
Mediana	2,90
Moda	1,90
Desviación estándar	2,28
Rango	8,80
Mínimo	0,20
Máximo	9
Cuenta	37

Se observa que en promedio tenemos una diferencia de temperaturas de 3.28 °C con una desviación estándar de 2.28; la mínima diferencia entre los valores de T° es de 0.20 °C; mientras que el valor de diferencia más alto es de 9 °C.

- **Análisis exploratorio Arsénico**

La Tabla 23 presenta los estadísticos correspondientes a los valores de arsénico determinados en laboratorio.

Tabla 23.*Resumen estadístico Arsénico*

<i>ARSÉNICO</i>	
Media	18,06
Mediana	13,3
Moda	31,2
Desviación estándar	11,16
Rango	30,3
Mínimo	1,2
Máximo	31,5
Cuenta	37

A diferencia de los otros conjuntos de datos, se observa que entre los valores de media y mediana existe una diferencia considerable; por ello, el conjunto de datos no tiende a una distribución normal; esto se debe a que las concentraciones de arsénico

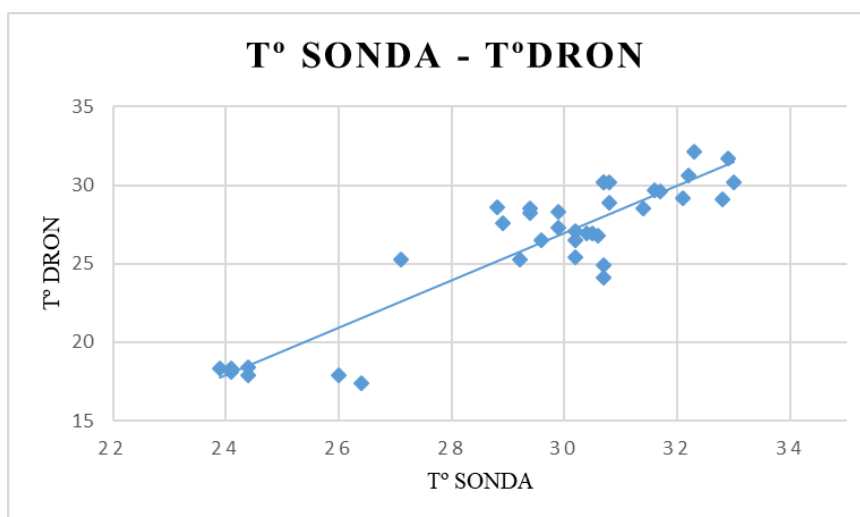
varían considerablemente en las zonas de estudio; en el Complejo Rumiloma se registraron los valores de Temperatura más bajos y por consiguiente las concentraciones de arsénico también fueron menores; en los complejos Ilaló y El Tingo los valores de temperatura aumentaron, por lo cual, la concentración de arsénico también aumentó en relación a los valores del complejo Rumiloma, con lo cual podemos ir notando que existe un relación entre temperatura y arsénico.

Resultados Diagramas de dispersión

A continuación, en las Figuras 40 y Figuras 41 se presentan los resultados del diagrama de dispersión de los conjuntos de datos que se están analizando.

Figura 40.

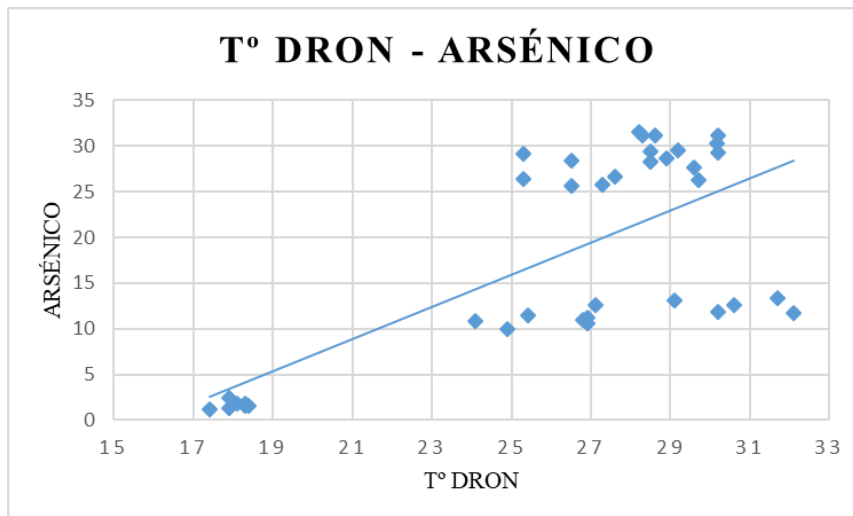
Diagrama de dispersión T° sonda – T° dron



En la Figura 40, el diagrama de dispersión muestra la existencia de una relación muy grande entre los valores de T° sonda con los de T° dron; por la tendencia de los datos se puede decir que: tenemos una relación positiva entre las dos variables, con una media de diferencia de temperatura de 3.28 °C y con una desviación estándar de 2.28.

Figura 41.

Diagrama de dispersión T° dron - Arsénico



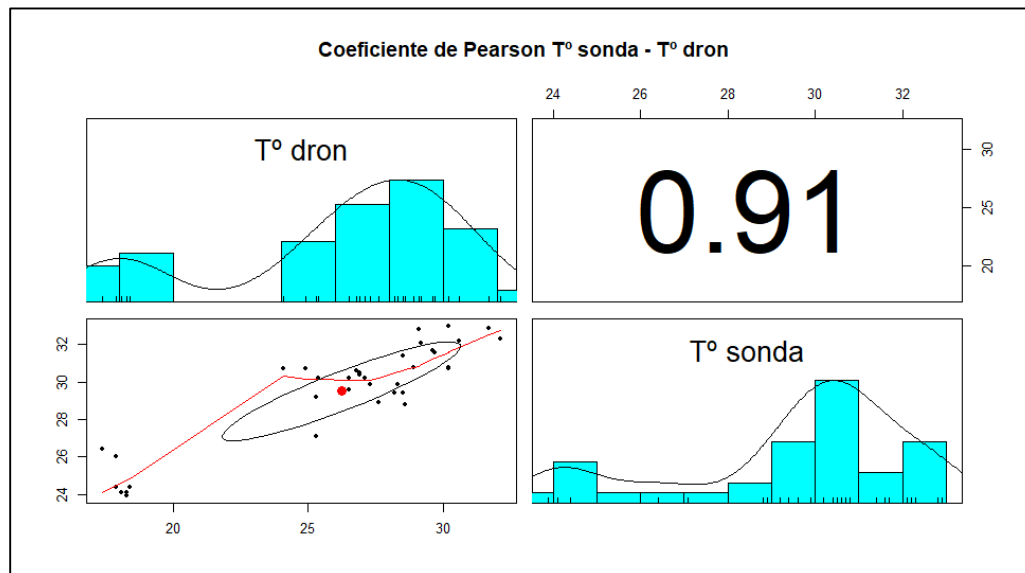
El diagrama de dispersión de la Figura 41 presenta una tendencia positiva de los datos; se denota que existe una relación entre las variables de T° dron y arsénico, pero, de igual manera se nota que los valores están un poco distantes de la recta.

Resultados de las correlaciones

A través del software RStudio se obtuvieron los resultados de las correlaciones que se muestran en la Figura 42 y Figura 43.

Figura 42.

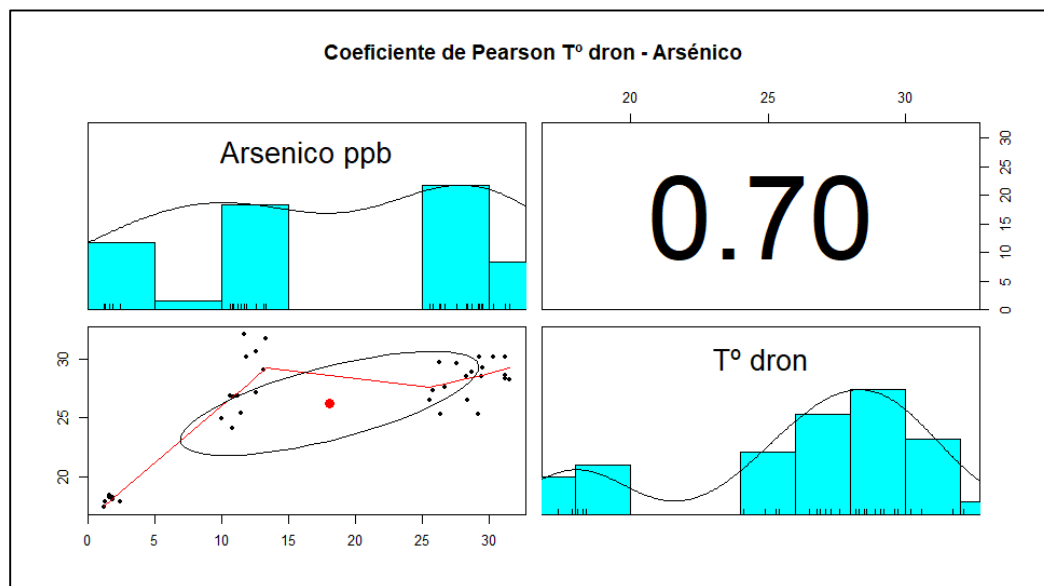
Resultado de la Correlación de Pearson T° sonda – T° dron



Con respecto a la correlación 1, en la que se comparan las variables Temperatura de la sonda (T° sonda) obtenida a través del multiparamétrico HQ30d vs Temperatura del Mapa de Reflectancia generado por el software Pix4D (T° dron); se obtuvo un coeficiente de Correlación de Pearson (R^2) de 0.91; el cual, al estar en un valor muy cercano a 1, corresponde a una correlación positiva, casi perfecta; de igual manera los histogramas corroboran que los datos analizados tienen a una distribución normal.

Figura 43.

Resultado de la Correlación de Pearson T° dron – Arsénico



Mientras que la correlación 2, en la que se comparan las variables Temperatura del Mapa de Reflectancia generado por el software Pix4D (T° dron) vs concentración de arsénico; el resultado fue un (R2) de 0.70; por lo tanto, según Lind (2008), se trata de una correlación positiva fuerte; también se observa en los histogramas, que los datos de arsénico no tienden a una distribución normal como lo habíamos mencionado.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

En el procesamiento de la información térmica de la imagen satelital se realizaron correcciones radiométricas y el cálculo de temperatura; la imagen satelital posee una resolución espacial de 100m en donde el pixel corresponde a un conjunto de objetos, debido a esto, es difícil relacionarla con los puntos de muestreo, por lo cual, se la comparó con un mapa de isotermas; se realizó el análisis de los valores de temperatura, obteniendo diferencias significativas, siendo el valor mínimo 8.9 °C y el valor máximo 24.5 °C entre los valores de la imagen satelital y el mapa de isotermas.

Se determinó que para generar ortomosaicos térmicos a través de vuelos programados con cámara térmica, se deben tener en cuenta los siguientes parámetros: el traslape longitudinal y transversal debe ser de 90% - 90%, es decir un 20 – 30% más que con cámaras de espectro visible; la paleta que brinda mejores resultados es IceFire; adicionalmente las imágenes deben ser lo más nítidas posibles con lo cual la velocidad de vuelo será reducida para evitar imágenes difuminadas.

Los ortomosaicos térmicos “mapa de reflectancia” generados, no presentan distorsiones en la imagen, esto se debe a que, tanto en la toma/captura de imágenes térmicas como en el procesamiento de los mosaicos en el software Pix4D, se trabajó con los parámetros apropiados obteniendo los resultados esperados; adicionalmente, los valores de los pixeles en el ortomosaico térmico reflejan el valor de temperatura, con lo cual, se pudo determinar el valor de esta variable en los puntos de muestreo.

Los parámetros físicos – químicos medidos “in situ” como: temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto de las muestras de agua de las zonas de estudio, se

encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos en el Libro VI, Anexo 1 del TULSMA.

Las concentraciones de arsénico de agua de las zonas de estudio se encuentran en un intervalo de 1.2 – 31.5 µg/L con un valor promedio de 18.06 µg/L; por lo tanto, los valores de arsénico cumplen con los límites establecidos en la Libro VI, Anexo 1 del TULSMA; sin embargo, es importante señalar que una exposición constante podría llegar a causar problemas a la salud.

El valor del coeficiente de correlación de Pearson (R^2) de T° sonda vs T° dron indica que existe una correlación positiva y casi perfecta en los datos, ya que, posee un valor cercano a 1, por lo tanto, se puede decir que a medida que aumenta el valor de la variable T° sonda, también lo hace el valor de T° dron.

Se puede utilizar un equipo aéreo no tripulado (UAV) con una cámara térmica, para determinar los valores de temperatura en las zonas de estudio; es importante señalar que al valor que muestra el pixel obtenido del ortomosaico de temperaturas, se debe sumar un valor aproximado de 3°C para obtener una mejor relación con la medida de la temperatura tomada “in situ”.

El valor de R^2 obtenido del análisis de la correlación T° dron vs Arsénico es de 0.70, lo cual significa una correlación positiva fuerte, por lo tanto, la aplicación de cámaras térmicas acopladas en UAVs para la recopilación de información ambiental resultó ser una medida alterna de gran eficacia y a la vez eficiente a la hora de realizar un estudio de campo, sobre todo para aquellos lugares de menor accesibilidad; la recolección de datos mediante el uso de la cámara térmica en un vehículo aéreo no

tripulado es aplicable a los trabajos de campo y en cierto grado necesarios y a futuro indispensable.

Recomendaciones

El mapa de isotermas usa información secundaria para ser generado; por lo cual, para obtener una mejor comparación con la imagen satelital, se recomienda generar un mapa más actualizado para en base a este hallar las diferencias de temperatura.

Con respecto a los vuelos programados de UAV con cámara térmica, es de suma importancia verificar los parámetros establecidos antes de la toma, ya que, son muy necesarios para obtener la información adecuada para su procesamiento.

Se recomienda realizar un reconocimiento de las zonas de estudios previo a efectuar los vuelos, para verificar factores como la vegetación u obstrucciones que impidan realizar el levantamiento con el vehículo aéreo no tripulado; así como, tener en cuenta las condiciones ambientales ya que si estas son adversas los vuelos no se podrán realizar.

Al momento de la toma de muestra "in situ", como de la toma con el UAV, se recomienda que se la realice cuando exista menos afluencia de gente en las zonas de estudio, ya que, los datos tomados pueden sufrir alteraciones que afectaran a los resultados.

Al ser pequeña la base de datos, se recomienda realizar más vuelos y toma de muestras, con la finalidad de obtener, una mayor cantidad de información y así poder analizar la relación entre las variables de estudio, para a futuro realizar una ecuación

que nos permita corregir las diferencias de temperatura e inmediatamente obtener el valor de la cantidad de arsénico sin necesidad de hacerlo en laboratorio.

Capítulo VI

Bibliografía

- Acuerdo Ministerial 097-A. (2018). *REFORMA TEXTO UNIFICADO LEGISLACION SECUNDARIA, MEDIO AMBIENTE, LIBRO VI* (Patent No. 378).
<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>
- APHA. (2017). *Standard Methodos for the Examination of water and wastewater* (R. Baird, A. Eaton, & E. Rice (eds.); 23rd ed.). Joint Editorial Board.
- Azcoiti, J. (2016). *Evaluación de aplicaciones para el tratamiento de imágenes mediante correlación automática* [Universidad Pública de Navarra]. http://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/22452/JAVI_AZCOITI_FINAL.pdf?sequence=1
- Barrientos, A., Del Cerro, J., Gutiérrez, P., San Martín, R., Martínez, A., & Rossi, C. (2009). Vehículos aéreos no tripulados para uso civil. Tecnología y aplicaciones. *Grupo de Robótica y Cibernética, Universidad Politécnica de Madrid*, 1–29.
<http://webdiis.unizar.es/~neira/docs/ABarrientos-CEDI2007.pdf>
<http://webdiis.unizar.es/~neira/docs/ABarrientos-CEDI2007.pdf>
- Bundschuh, J., Pérez, A., & Litte, M. (2008). Distribución del arsénico en las regiones ibérica e iberoamericana. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Burbano, A., & García, J. (2015). *Planeación de Vuelos Fotogramétricos* (Issue 01, p. 18). UNIVERSIDAD DEL VALLE.
- Burbano, N., Becerra, S., & Pasquél, E. (2013). Aguas Termominerales en el Ecuador. *INANHÍ*. <https://issuu.com/inamhi/docs/termalismo>
- Carbotecnia. (2020, August 13). *conductividad en el agua*. Carbotecnia.
<https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/conductividad-en-el->

agua/

Castaño, S., Reyes, J., & Vela, A. (1996). La Teledetección sus bases. *Revista de La Facultad de Educación de Albacete*, 183–194.

Chander, G., Markham, B. L., & Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors.

Remote Sensing of Environment, 113(5), 893–903.

<https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>

Chuvieco, E. (1995). Fundamentos de teledetección espacial. In *(Fundamentals of remote sensing from space)*.

Díaz, F., Quinterio, S., Triana, J., & Morón, D. (2014). *Aproximación a los sistemas de percepción remota en satélites pequeños*.

Díaz, J. (2015). Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión

[UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID]. In *Universidad Complutense De Madrid*. http://eprints.ucm.es/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf

DJI. (2017). *DJI Matrice 600 Pro*. DJI. <https://www.dji.com/matrice600-pro>

DJI. (2018). *Zenmuse xt 2*. <https://dl.djicdn.com/downloads/Zenmuse XT>

[2/20180511/Zenmuse XT 2 快速入门指南 v1.2.pdf](https://dl.djicdn.com/downloads/Zenmuse XT 2 快速入门指南 v1.2.pdf)

EDGPATM. (2018, July 11). *Las aguas termales en Ecuador*. *Revista Cuenca Ilustre - Ecuador*. <https://patomiller.wordpress.com/2018/07/11/las-aguas-termales-en-ecuador/>

EOS. (2013). *Landsat 8*. Landsat 8. <https://eos.com/landsat-8/>

esri. (n.d.). *ERDAS Imagine y sus aplicaciones*. Retrieved September 13, 2020, from

<https://www.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=3d177114c2404b7893>

6cb524269ce1b3

Fernández, J. (2013, April). *Temperatura*. FISICALAB.

<https://www.fiscalab.com/apartado/temperatura>

García, A. (2000). *Landsat* (pp. 2–40).

García, S. (2013). *Estudios de especiación de arsénico y acumulación de metales en muestras de interés medioambiental*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.

Gehle, K., Coles, C., Doyle, J., Fowler, B., Gehle, K., Hall, S. L., Hatcher, M., Jenkins, K., Jolly, R. T., Riley, B. M., Roberts, D., Tarragó, O., Tencza, B., & Chou, S.

(2009). La toxicidad del arsénico. *Agencia Para Sustancias Tóxicas y El Registro de Enfermedades*, 3–110.

https://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/arsenic/docs/arsenic_csem_spanish.pdf

González, C. (2011). pH. In *Colegio de Ciencias Agrícolas* (p. 12).

<http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-862/maguaph.pdf>

González, P. (2015). *Levantamiento mediante GPS de una red de puntos establecidos para correlacionar los distintos espacios de la universidad en el mismo sistema de coordenadas*. Universidad Politécnica de Cartagena.

Government of Canada. (2015, November). *Thermal Imaging*.

<https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/satellite-imagery-air-photos/remote-sensing-tutorials/satellites-sensors/thermal-imaging/9319>

Guerra, A., & León, M. (2016). Evaluación de impacto ambiental de la empresa pública complejo turístico Santaagua-Chachimbiro y propuesta del plan de manejo ambiental. In *UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES* (Vol. 147). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Hach. (n.d.). *Medidor multiparamétrico Hach HQ30d*. OneLab. Retrieved September 13,

- 2020, from <https://www.onelab.com.ar/medidor-multiparametrico-hach-hq30d#link>
- Interempresas. (2018, June 13). *Termografía con drones, allí donde otros no llegan*. Interempresas.Net. <https://www.interempresas.net/Electronica/Articulos/219297-Termografia-con-drones-alli-donde-otros-no-llegan.html>
- Jimenez, P. (2018). Diagnóstico De La Presencia Y Contaminación Por Arsénico En El Suelo Y Agua De Consumo En La Parroquia Papallacta [ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL]. In *Facultad de ingeniería en geología y petróleos*. <https://doi.org/10.1103/PhysRevX.7.041008>
- Junco, J. (2015, February 27). *Equipo Multiparámetro*. Monitoreo Ambiental. <https://www.monitoreoambiental.com/equipo-multiparametro/>
- Kaplan, H. (2007). *Practical Applications of Infrared Thermal Sensing and Imaging Equipment* - Google Libros. SPIE Press. [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=vuJ8dalst-kC&oi=fnd&pg=PR13&dq=Practical+Applications+of+Infrared+Thermal+Sensing+and+Imaging+Equipment&ots=A5ECzLvGOu&sig=nDYF8ub8Yd1_0wl_zfhU04uTo4#v=onepage&q=Practical Applications of Infrared Thermal Se](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=vuJ8dalst-kC&oi=fnd&pg=PR13&dq=Practical+Applications+of+Infrared+Thermal+Sensing+and+Imaging+Equipment&ots=A5ECzLvGOu&sig=nDYF8ub8Yd1_0wl_zfhU04uTo4#v=onepage&q=Practical+Applications+of+Infrared+Thermal+Se)
- Khan Academy. (2017). *Luz y pigmentos fotosintéticos (artículo)*. <https://es.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants/the-light-dependent-reactions-of-photosynthesis/a/light-and-photosynthetic-pigments>
- Kirby, E. P. (2012). *Cálculo del número de puntos GPS para la corrección geométrica y generación de una ortoimagen de alta resolución en áreas de baja y mediana pendiente (Tesis de Maestría)* [Universidad San Francisco de Quito]. <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1818/1/104254.pdf>
- Labrador, M., Évora, J., & Arbelo, M. (2012). *Satélites de Teledetección para Gestión del Territorio* (P. y A. del G. de C. Consejería de Agricultura, Ganadería (ed.)).

Litografía Romero.

Lacoste, G. (2004, October 21). *Piscinas Temperadas*. Ediciones Especiales.

<http://www.edicionesespeciales.elmercurio.com/destacadas/detalle/index.asp?idnoticia=0121102004021X1090045>

LeicaGeosystems. (2010). Sistemas de Información Geográfica. In *Sistemas de Información Geográfica* (pp. 383–416).

Levin, N. (1999). Fundamentals of remote sensing [Tel Aviv University]. In

Environmental Science and Engineering (Subseries: Environmental Science) (Issue 9783642340840). https://doi.org/10.1007/978-3-642-34085-7_7

Liang, S., & Wang, J. (2020). Advanced remote sensing: terrestrial information extraction and applications. In S. Liang & J. Wang (Eds.), *Advanced Remote Sensing* (Second). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815826-5.01001-1>

Lillo, J. (2008). Peligros Geoquímicos: Arsénico de Origen Natural en las Aguas. In *Gemm*.

http://www.aulados.net/GEMM/Documentos/Peligros_geoquimicos_As/Peligros_As_2.pdf

Lind, D., Marchal, W., & Wathen, S. (2008). *Estadística aplicada a los negocios y la economía* (D. Lind, W. Marchal, & S. Wathen (eds.); Decimoterc). McGRAW-HILL.

Manzano, D. (2020). *Generación de true orthos mediante imágenes obtenidas por aviones no tripulados de ala fija en el sector de la Merced*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Martínez, Julio, & Díaz, A. (2005). *Percepción Remota “Fundamentos Teledetección Espacial”* (Vol. 34, p. 62). Comisión Nacional del Agua.

Martínez, Javier, Martín, M. P., Díaz, J. M., López, J. M., & Muñoz, F. J. (2010). Guía didáctica de Teledetección y Medio Ambiente. *Red Nacional de Teledetección*

Ambiental, 124.

Murgueitio, E., & Cumbal, L. (2015). Desarrollo de una tecnología para la recuperación de las aguas de la laguna de Papallacta contaminadas con arsénico y metales pesados usando materiales sorbentes emergentes. *ResearchGate*, July, 86.

<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4859.6320>

NTE INEN 2169. (2013). Agua, calidad de agua, muestreo manejo y conservación de muestras. In *Instituto Ecuatoriano De Normalización*. <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACIÓN-DE-MUESTRAS.pdf>

NTE INEN 2176. (2013). Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo. In *2176: Vol. First Edit*. <https://bit.ly/2C5dMyv>

Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica* (V. Olaya (ed.)). Creative Commons. https://www.icog.es/TyT/files/Libro_SIG.pdf

Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227–232.

<https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>

Peña, E. (2007). *Calidad de Agua- Oxígeno Disuelto*.

<http://es.slideshare.net/JAHADIEL/trabajo-de-investigacion-tipos-de-bridas-para-hoy>

Perdomo, C., Caicedo, J., Nuñez, N., Machado, D., Garcia, J., & Pineda, M. C. (2015). Establecimiento De Puntos De Control Terrestre Para La Corrección Planialtimetrica De ... *Conference Paper*, March, 8.

<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3415.4640>

Pérez, C., & Muñoz, Á. (2006). *Teledetección Nociones y Aplicaciones* (C. Pérez & Á. Muñoz (eds.)). Universidad de Salamanca.

- Pix4D. (n.d.). *Índice de temperatura*. Support.Pix4d. Retrieved September 14, 2020, from <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/203891879-Menu-Process-Processing-Options-3-DSM-Orthomosaic-and-Index-Index-Calculator#label5>
- Quirós, E. (2014). *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil* (U. de Extremadura (ed.)). Universidad de Extremadura. https://mascvuex.unex.es/ebooks/sites/mascvuex.unex.es.mascvuex.ebooks/files/files/file/Fotogrametria_9788469713174_0.pdf
- RETC. (2017). *Ar (Arsénico y compuestos)*. PRTR España. <http://www.prtr-es.es/Ar-Arsenico-y-compuestos,15604,11,2007.html>
- Rodríguez, B., & Vallejo, P. (2007). *Distribución, especiación y movilización del arsénico en las aguas geotermales de la zona centro-norte de los andes ecuatorianos*. 1–113. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2323/1/T-ESPE-018646.pdf>
- SIGMUR. (2003). 01. Fundamentos físicos de la teledetección. *Teledetección*, 9–16. <http://www.um.es/geograf/sigmur/teledet/tema01.pdf>
- Singhal, G., Bansod, B., & Mathew, L. (2018). Unmanned Aerial Vehicle Classification, Applications and Challenges : A Review. *Preprint, November*, 1–19. <https://doi.org/10.20944/preprints201811.0601.v1>
- Smedley, P., & Kinniburgh, D. (2002). A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(10), 517–568. <https://doi.org/10.1007/s12517-014-1763-6>
- Sobrino, J. (2000). *Teledetección - Google Libros*. Universidad de Valencia. https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=Yb6xllf0T0C&oi=fnd&pg=PA73&dq=teledetección&ots=oTwysrMF4I&sig=qQA95Ho7JTZJYe_TldDUAviPmuE&redirect_esc=y#v=onepage&q&f=false

Trimble. (2020). *Trimble Business Center*. Geospatial Trimble .

<https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-business-center>

Universidad de Granada. (2016). *Descripción de Rstudio*. Universidad de Granada.

<http://wpd.ugr.es/~bioestad/guia-r-studio/practica-1-r-studio/>

USGS. (2012). *Landsat* (Issue December, pp. 1–2). USGS.

https://landsat.gsfc.nasa.gov/wp-content/uploads/2012/12/20101119_LDCMbrochure.pdf

Villar, A. (2004). Teledetección y sistemas de tratamiento digital de imágenes. In

Teledetección (pp. 1–47). DEXTRA.

http://ocw.upm.es/pluginfile.php/1068/mod_label/intro/microsoft-word-teledeteccion_y_sist_tratamiento_digital_imagenes.pdf

Vizcaíno, M. J. (2009). *Determinación de los contenidos de arsénico en aguas superficiales, sedimentos y suelos del Valle de los Chillos*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Anexos