



CONSTRUCTORA KYBALION S.A. DE C.V.

Contacto:

Ing. Daniel Fernando Morales Cantú

Tel 614 227 3667

DMORALES@CONSTRUCTORAKYBALION.COM

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

PARA:



PROMOTORA PARA EL DESARROLLO ECONÓMICO DE CHIHUAHUA

NOMBRE DEL ESTUDIO:

DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.

SEGUIMIENTO DE ENTREGA Y REVISIÓN:

Entrega	Fecha	Revisión	Fecha	Descripción
FINAL	08/06/2023			

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	2
1.1	ANTECEDENTES.....	2
1.2	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.3	OBJETIVO DEL ESTUDIO.....	5
1.4	LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	6
2	DESCRIPCIÓN DEL MEDIO NATURAL DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	8
2.1	PROVINCIAS Y SUBPROVINCIAS FISIográfICAS	8
2.2	GEOMORFOLOGÍA.....	10
2.3	GEOLOGÍA REGIONAL.....	11
2.4	TIPO DE SUELO	13
2.5	CARACTERÍSTICAS RELEVANTES DEL PARQUE PIA.....	15
3	METODOLOGÍA, TÉCNICAS Y EQUIPOS.....	17
3.1	MAPEO Y CATASTRO DE LA RED HIDRÁULICA.....	18
3.1.1	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	18
3.1.2	FOTOGRAMETRÍA.....	19
3.1.3	GEORRADAR DE PENETRACIÓN TERRESTRE (GPR)	22
3.2	DETECCIÓN DE FUGAS	24
3.2.1	ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES	24
3.2.2	TELEDETECCIÓN MULTIESPECTRAL	26
3.2.3	GRADIENTE TÉRMICO.....	27
3.2.4	TRAYECTORIAS EQUIPOTENCIALES	28
3.2.5	DETECCIÓN ACÚSTICA DE FUGAS	29
3.3	LIMITACIONES DE LAS TÉCNICAS EMPLEADAS.....	30
4	EJECUCIÓN DE LAS TÉCNICAS Y SUS RESULTADOS.....	34
4.1	MAPEO Y CATASTRO DE TUBERÍAS.....	34
4.1.1	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE LA RED DE TUBERÍA	34
4.1.2	VUELO CON DRON PARA OBTENER ORTOFOTO.....	38

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

4.1.3	DETECCIÓN DE TUBERÍAS CON GEORADAR	40
4.1.4	CATASTRO DE LA RED HIDRÁULICA	43
4.2	DETECCIÓN DE FUGAS	46
4.2.1	ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES	46
4.2.2	TELEDETECCIÓN MULTIESPECTRAL	53
4.2.3	INTERPRETACIÓN DE GRADIENTE TÉRMICO	55
4.3	DIRECCIÓN DE FLUJO.....	56
4.4	DETECCIÓN ACÚSTICA DE FUGAS	58
5	DETECCIÓN DE FUGAS	61
5.1	CORRELACIÓN DE TÉCNICAS.....	61
5.2	FUGAS POTENCIALES.....	64
6	FUGAS POTENCIALES Y PROPUESTA DE EXPLORACIÓN	68
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

RESUMEN

Se desarrollaron diferentes metodologías y técnicas para determinar zonas y puntos potenciales de fuga en función a la huella espectral y trayectoria del flujo de agua, humedad en el suelo, ubicación de la red de tuberías de agua potable y distribución del servicio.

Como primer paso se realizó un recorrido de campo el 03 de abril de 2023, para verificar y determinar cuál es el polígono de estudio, así como conocer las zonas con las que se cuenta el servicio de agua potable de la red de agua potable administrada por la Secretaría de Innovación y Desarrollo Económico de Chihuahua en la ciudad de Juárez, Chihuahua.

Se adquirieron imágenes satelitales para desarrollar el análisis de teledetección hiperespectral y determinar la huella espectral de agua; la cual nos indica las zonas con humedad para asignarlas a zonas potenciales con fuga.

Seleccionadas las zonas potenciales, se realizaron vuelos con el dron con cámara dual (fotográfica/térmica) para la toma de fotografías aéreas e imágenes térmicas. Las fotografías térmicas se emplearon para determinar las zonas con humedad en el suelo y subsuelo, pudiendo corroborar las zonas potenciales detectadas por medio de las imágenes satelitales y análisis de teledetección. También se obtuvieron fotografías aéreas las cuales se utilizaron para crear mosaicos RGB y Modelos Digitales de Elevación (MDE). Adicional se realizó el vuelo con Dron DJI Phantom P4 multiespectral para obtención de imágenes multiespectrales de condiciones actuales.

Simultáneamente se implementó la técnica de mapeo de tuberías con Georradar y el levantamiento topográfico de las coordenadas de ubicación de las tuberías en el sistema de coordenadas y proyección WGS 1984 - UTM Z13N; esto con la finalidad de tener la ubicación precisa de la red de agua potable para poder asociarla los puntos potenciales y probables de fugas y tomas no reportadas o declaradas.

Los resultados obtenidos de la aplicación del análisis hiperespectral fue la detección de 29 zonas de humedad y 4 zonas con potencial de fuga las cuales se pueden asociar principalmente a zonas de humedad permanente. Del mapeo de tuberías se obtuvo un plano con la ubicación y profundidad de registros, medidores y tuberías de agua potable para poder asociar las fugas potenciales determinadas.

Se realizó un análisis integral de todos los resultados obtenidos (análisis satelital, teledetección hiperespectral, imágenes térmicas y mapeo de tuberías), comparando y calibrando cada metodología se logró identificar los puntos de fuga potenciales.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

1 INTRODUCCIÓN

Los organismos operadores de servicio de agua potable, así como los responsables de las redes de agua potable del sector privado, se esfuerzan día a día y no pueden seguir tolerando ineficiencias en los sistemas de distribución de agua y la resultante pérdida de ganancias asociada a las fugas subterráneas de los sistemas de agua. "Incrementar el bombeo, los tratamientos y los costos operativos hace que estas pérdidas sean prohibitivas." ("Detección de Fugas y Control de Pérdida de Agua") Es por ello por lo que nuestra empresa ofrece métodos para detectar, localizar y corregir fugas.

1.1 ANTECEDENTES

Las tuberías antiguas y pobremente construidas, el impacto de la corrosión, el mantenimiento inalcanzable de válvulas y el daño mecánico son algunos de los factores contribuyentes a las fugas. Un efecto de la fuga de agua, aparte de la pérdida de los recursos de agua, es la reducción de la presión en los sistemas de abastecimiento. El elevar las presiones para compensar tales pérdidas incrementa el consumo de energía. Este aumento en presión empeora las fugas y tiene un impacto negativo sobre el medioambiente. ("Detección de Fugas y Control de Pérdida de Agua")

"De las muchas opciones disponibles para la conservación del agua, la detección de fugas es un primer paso lógico." ("Detección de Fugas en la Tubería de la Red Principal del Sistema de ...") Si los organismos operadores hacen lo que pueden para conservar el agua, los consumidores tenderán a ser más cooperativos en otros programas de conservación, muchos de los cuales dependen de esfuerzos individuales. Un programa de detección de fugas puede ser altamente visible, animando a las personas a pensar acerca de la conservación del agua antes que se les pida tomar acción para reducir sus propios niveles de consumo de agua.

Una forma efectiva de conservar el agua y ahorrar dinero es reducir las pérdidas de agua potable, a través de la reparación y la disminución de los niveles de agua no-contabilizada en los sistemas urbanos. La detección de fugas de agua es una oportunidad para mejorar servicios existentes para los consumidores y extender los servicios a la población no servida. Hay dos tipos básicos de fugas: visibles y no-visibles. Las fugas visibles emergen hacia la superficie del terreno o pavimento, permitiendo su ubicación, aunque en la mayoría de las ocasiones está localizada a una distancia considerable del punto donde fue descubierta. Las fugas no-visibles se infiltran en el suelo o pueden drenar hacia tuberías del alcantarillado o canales.

Según el lugar donde ocurren, las fugas pueden clasificarse en seis categorías, como sigue:

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

- a) Fugas en depósitos.
- b) Fugas en conducciones, líneas principales y secundarias.
- c) Fugas en conexiones domiciliarias.
- d) Fugas en la toma domiciliaria.
- e) Fugas en cajas de válvulas.
- f) Fugas intradomiciliarias.

Las fugas visibles pueden ser detectadas con facilidad, como ocurre en las fugas de depósitos, en la toma domiciliaria, en las cajas de válvulas y las intradomiciliarias.

Las fugas no-visibles ocurren en su gran mayoría en las conducciones, líneas principales, líneas secundarias y conexiones domiciliarias, es en estas fugas donde nuestros servicios tienen un gran impacto, ya que se pueden detectar y reparar dichas fugas.

En general, las principales causas de ocurrencia de fugas son:

- a) Presión alta
- b) Corrosión externa
- c) Corrosión interna
- d) Efectos del tráfico de vehículos
- e) Mala calidad de los materiales y accesorios
- f) Mala calidad de mano de obra
- g) Edad de las tuberías
- h) Movimientos del suelo

En México en los sistemas de distribución de agua potable, las fugas ocurren entre un 75 y 90% en las líneas principales, líneas secundarias y en conexiones domiciliarias y se deben principalmente a la mala calidad de los materiales, del procedimiento constructivo y a que no se respeta la normatividad. Los volúmenes promedio estimados de agua perdida por estas fugas son del orden del 36% del agua que se suministra a las ciudades.

El diagnóstico implica la descripción técnica, clara y concisa del estado de pérdidas de agua, es importante mencionar que este diagnóstico tiene varios niveles de aproximación, dependiendo del método utilizado. ("EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE - IMTA") Los métodos propicios son:

- a) Sectorización de redes
- b) Eliminación física de pérdidas de agua
- c) Eliminación contable

Los subproyectos básicos de un programa de control de pérdidas de agua, considera dentro de proyectos de operación del servicio, las siguientes actividades: catastro de la red de distribución, catastro de las instalaciones, hidrometría, macromedición, detección y reparación de fugas y el control de la operación del sistema.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

Beneficios:

- Mejoramiento financiero, al programar inversiones y medir los beneficios obtenidos.
- Cuantificación de las pérdidas de agua en la red, conexiones no autorizadas y fallas en la facturación.
- Incremento en el conocimiento físico e hidráulico de la red por parte de los operadores del sistema.
- Uso más eficiente de los recursos existentes, al poder designar actividades congruentes con un proyecto integral de reducción de pérdidas.
- Promoción de la participación de los directivos del organismo operador del sistema de agua potable y aceptación de proyectos.

Los beneficios económicos al ejecutar proyectos de detección y reparación de fugas y de detección o catastro de red de distribución, son:

- Considerar el valor del agua que se pierde incluyendo el pago de derechos y los costos de energía eléctrica y reactivos químicos.
- Incluir reparaciones, mantenimientos, salarios y supervisión de bombeo, tratamiento, conducción y distribución, es decir los costos de producción.
- Dividir todos los costos de operación del organismo operador, entre el volumen de agua producido.
- Trasferir los volúmenes de agua recuperada por reparación de fugas, a los costos de nuevas extracciones, como son: construcción de nuevos pozos, equipamiento y mantenimiento, adquisición o transferencia de derechos de uso de agua (superficial o subterránea), líneas de conducción, potabilización y conexión a redes de distribución existentes.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente La Promotora para el desarrollo económico de Chihuahua se encarga de la administración del Parque Industrial Aeropuerto (PIA) ubicado en la zona del aeropuerto en Ciudad Juárez, Chihuahua. Se identificaron problemas de presión y en el volumen de consumo, así como un aumento en el consumo eléctrico por efecto del bombeo extra. A continuación, se enlistan los problemas mencionados:

1. Existe un incremento en el consumo eléctrico de KWh mensual a partir del mes de junio de 2020 a la fecha, el cual coincide con el incremento de extracción de agua de misma fecha.
2. El incremento eléctrico representa el triple de consumo a partir de junio de 2020.
3. A partir de mayo de 2021 donde se instalan los medidores ultrasónicos se tiene la certeza que se extrae el volumen representado en las gráficas.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

4. Hay correlación entre el incremento de consumo eléctrico y el incremento en la extracción de agua.
5. La instalación de válvulas check en los extremos de la línea no son representativos para reducir el problema.
6. En los meses donde se cuenta con baja demanda regularmente, el factor de crecimiento de la diferencia crece sustancialmente, con lo cual se asume que es una fuga.
7. Al activar el Pozo 2 solo contribuye al incremento de la diferencia de los extraído vs facturado y a mejorar la presión.
8. La presión en el parque ha sido una queja constante de usuarios, con lo cual se asume que la fuga contribuye a reducir la presión del sistema.
9. Se determina la necesidad de realizar un estudio a profundidad para identificar la ubicación del punto de pérdida (fuga o toma no declarada) y el destino del volumen de agua que no se está facturando.

Así mismo, se mencionan algunas actividades que se realizaron por parte de la administración del parque para mitigar los efectos de alto consumo:

- Instalación de Válvula Check de 4" en pozo 1 para evitar retorno.
- Instalación de válvula Check previo a válvula de compuerta de la JMAS de Juárez en el pozo 1, calle Oscar Flores.
- Instalación de válvula Check previo a válvula de compuerta de la JMAS de Juárez en calle Roberto Fierro (6").
- Instalación de Medidor nuevo de 4" en Calle Roberto Fierro.

1.3 OBJETIVO DEL ESTUDIO

Detección de fugas y mapeo de red de distribución de agua potable del polígono denominado **Parque Industrial Aeropuerto (PIA)**, logrando la actualización catastral de dicha red y la localización de fugas existentes en la misma, con una precisión de proceso de fuga recomendado.

Objetivos específicos

- Mapeo y catastro de la red hidráulica del parque mediante levantamiento topográfico con georreferenciación de los elementos físicos, identificación de trayectorias de tuberías por medio de Georradar de Penetración Terrestre (GPR) y elaboración de planos en formato digital
- Análisis satelital por medio de combinaciones de bandas de imágenes satelitales para detección de zonas con humedad en el subsuelo.
- Teledetección hiperespectral por medio de combinaciones de bandas de imágenes multispectrales obtenidas con vuelos de Dron.



DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.

Fecha revisión

No. Revisión

Fecha elaboración

08 de junio 2023

- Análisis e interpretación del gradiente térmico para identificar fugas potenciales en líneas principales de la red hidráulica.
- Inspección física de la red hidráulica por medio de geófono.

1.4 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El Parque Industrial Aeropuerto se ubica en ciudad Juárez, el predio se delimita hacia el este con la Av. Tecnológico, hacia el sur con la Av. Gral. Roberto Fierro, hacia el norte con la Calle Barranco Azul, en el oeste se delimita con el Blvd. Óscar Flores. Ver la Figura 1 y Figura 2 para la ubicación del Parque Industrial Aeropuerto.

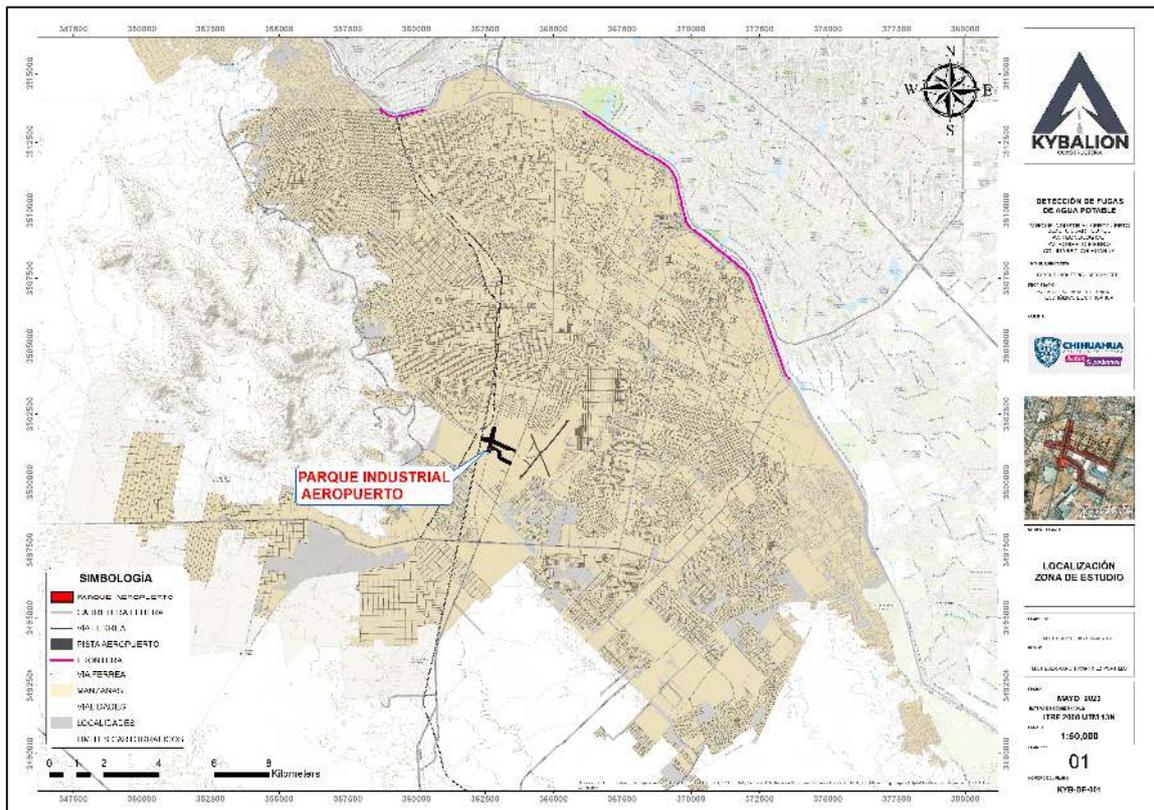


Figura 1. Localización primaria. Fuente: propia.



**DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL
PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN
CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.**

Fecha revisión

No. Revisión

Fecha elaboración

08 de junio 2023

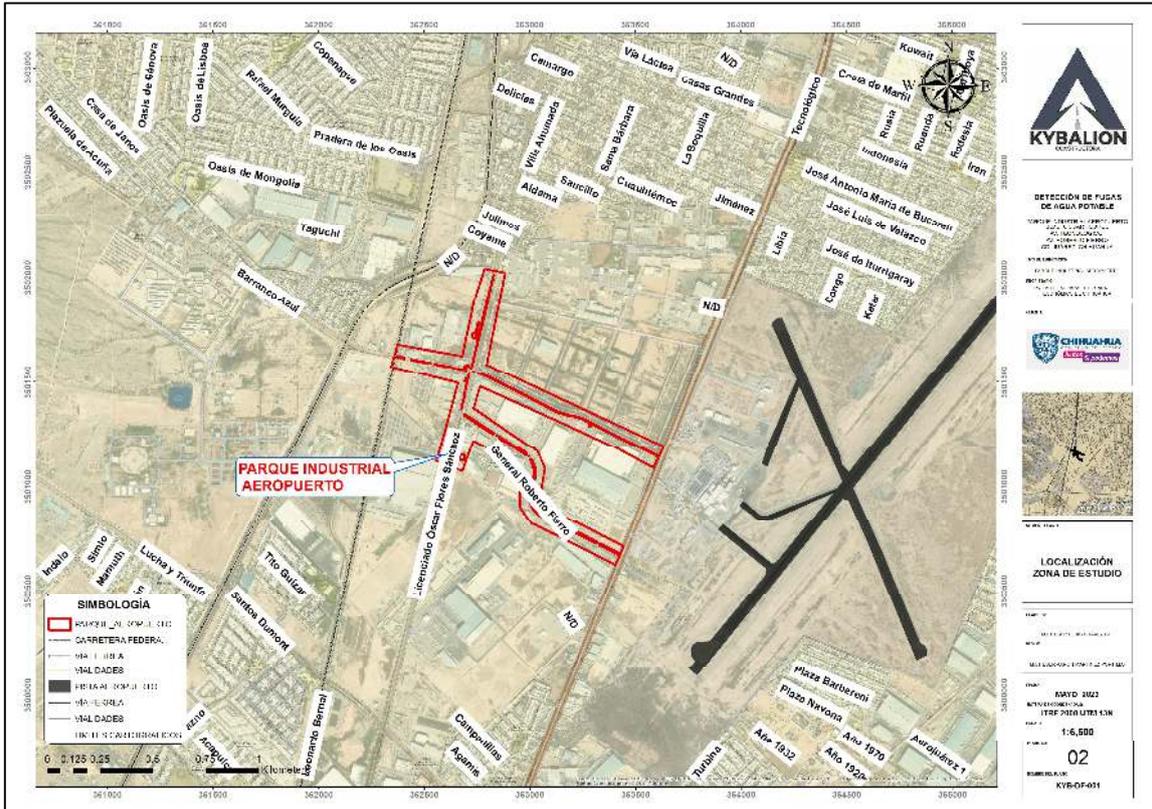


Figura 2. Localización secundaria. Fuente: propia.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

2 DESCRIPCIÓN DEL MEDIO NATURAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

Se determino un área de estudio mayor a la superficie del predio, con el fin de poder hacer una descripción del medio natural con base en la información existente en las diferentes plataformas gubernamentales como: Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Servicio Geológico Mexicano (SGM), y otras dependencias Estatales y Municipales. En el ANEXO 01_ IMÁGENES Y PLANOS SIG, se muestran las figuras y planos elaborados para este documento, en los cuales se encuentran en formato PDF y JPGE, así mismo se encuentran los archivos SIG editables y los shapes empleados como base.

2.1 PROVINCIAS Y SUBPROVINCIAS FISIAGRÁFICAS

Una provincia es un conjunto estructural de origen geológico unitario con morfología propia y distintiva. El municipio de Juárez pertenece a la Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental, asimismo Sierras y Llanuras del Norte (INEGI, Recursos Naturales 2014).

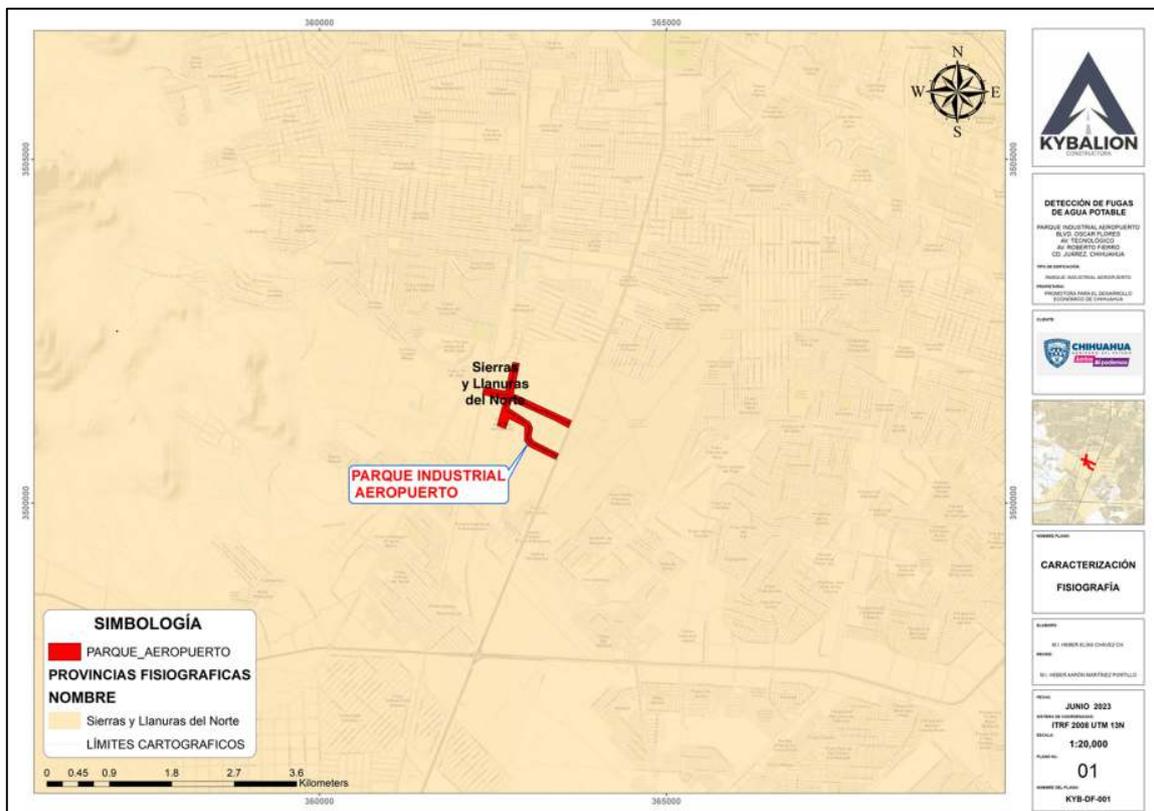


Figura 3. Características fisiográficas de la zona de estudio.

KYBALION CONSTRUCTORA S.A. DE C.V.
DMORALES@CONSTRUCTORAKYBALION.COM
 DURANGO, DGO.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

La zona se localiza en la porción de la provincia Sierras y Llanuras del Norte (Figura 3); se caracterizan por ser muy bajas e inclinadas, se separan entre sí por grandes llanuras, algunas de ellas denominados bolsones, el más conocido es el Bolsón de Mapimí, ubicado en los límites de Durango, Coahuila y Chihuahua. Al norte de esta provincia, cerca de Ciudad Juárez, se encuentran las dunas de Samalayuca (INEGI 2008).

La categoría de subprovincias fisiográficas se considera como las subregiones de una provincia fisiográfica con características distintivas, está limitada por las Sierras Madre Oriental y Occidental. Es una amplia área de llanos llamados bolsones y sierras bajas que ocupan políticamente parte de los estados de Chihuahua y Coahuila. ("Sierras y Llanuras del Norte: Provincia Fisiográfica de México") Estas se dividen en cinco Subprovincias: Llanuras y Médanos del Norte, Sierras Plegadas del Norte, Del Bolsón de Mapimí, Llanuras y Sierras Volcánicas y Laguna de Mayran. De estas cinco Subprovincias se describen las que corresponden al Municipio de Juárez (Figura 4):

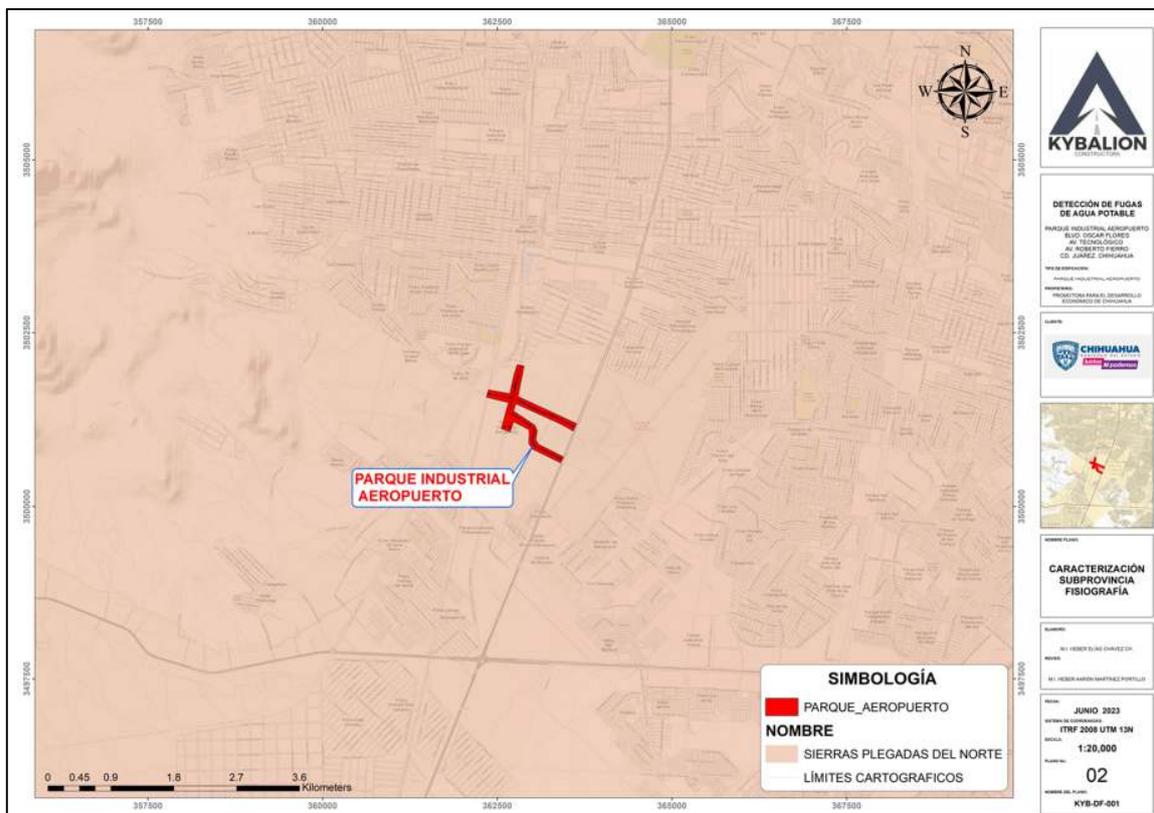


Figura 4. Subprovincia fisiográfica de la zona de estudio.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

Subprovincia Sierras Plegadas del Norte, se ubica hacia el noreste del estado en franja de dirección norte-sur. Aquí se presentan las siguientes topofomas: sierras alargadas de dirección noreste-sureste; estas sierras constituyen estructuras anticlinatorias (Gobierno del Estado 2000).

2.2 GEOMORFOLOGÍA

El Municipio de Juárez posee las geofomas características de la Provincias, Sierras y Llanuras del Norte, posee particularidades de la zona desértica en la que emergen grandes bloques montañosos. Las rocas sedimentarias son las que se caracterizan de esta provincia por ser de edad cretácica, separados por amplias llanuras que a través del tiempo (terciario y cuaternario) con rellenos de depósitos aluviales, fluviales y lacustres denominadas bolsones. Esta provincia se destaca por tener escasas pendientes a la cual Ordoñez llamo el Barreal. (Restauración Ambiental del Río Bravo 2004). El parque industrial se ubica dentro de la topofoma denominada "Llanura desértica", la cual se caracteriza por ser una gran extensión de tierra plana o con ligeras ondulaciones (Figura 5).

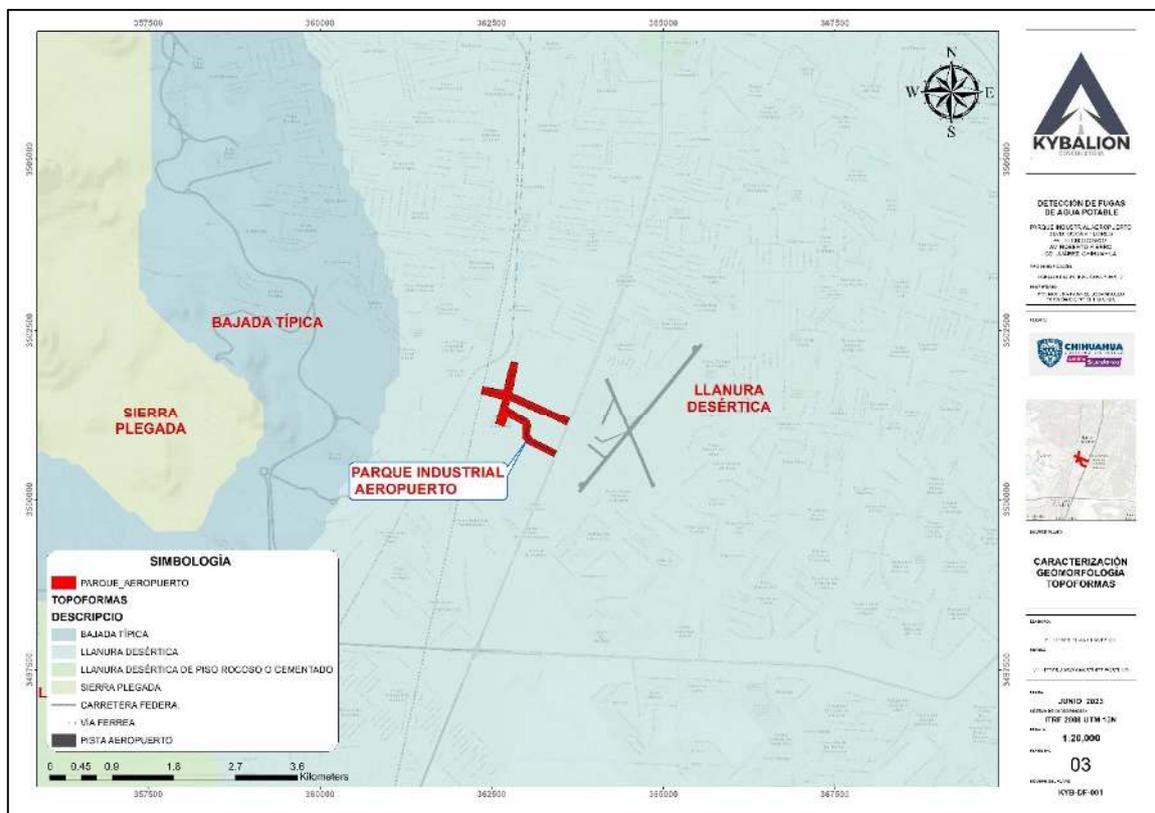


Figura 5. Geomorfología de la zona de estudio.



**DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL
PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN
CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.**

Fecha revisión

No. Revisión

Fecha elaboración

08 de junio 2023

2.3 GEOLOGÍA REGIONAL

La geología regional abarca unidades litológicas principalmente de origen sedimentario y en menor proporción volcánico, cuyo rango estratigráfico abarca del Mesozoico hasta el Cenozoico, comprendidas dentro del terreno tectonoestratigráfico Chihuahua.

Las rocas que afloran del Mesozoico están representadas por una secuencia marina depositada en un marco sedimentológico transgresivo en la paleocuenca de Chihuahua y en el borde de la paleopenínsula de Aldama. Esta secuencia es de carácter arcillo-arenoso hacia la base, calcáreo-arcilloso en su parte media y termina en calcáreo de facies postarrecifal.

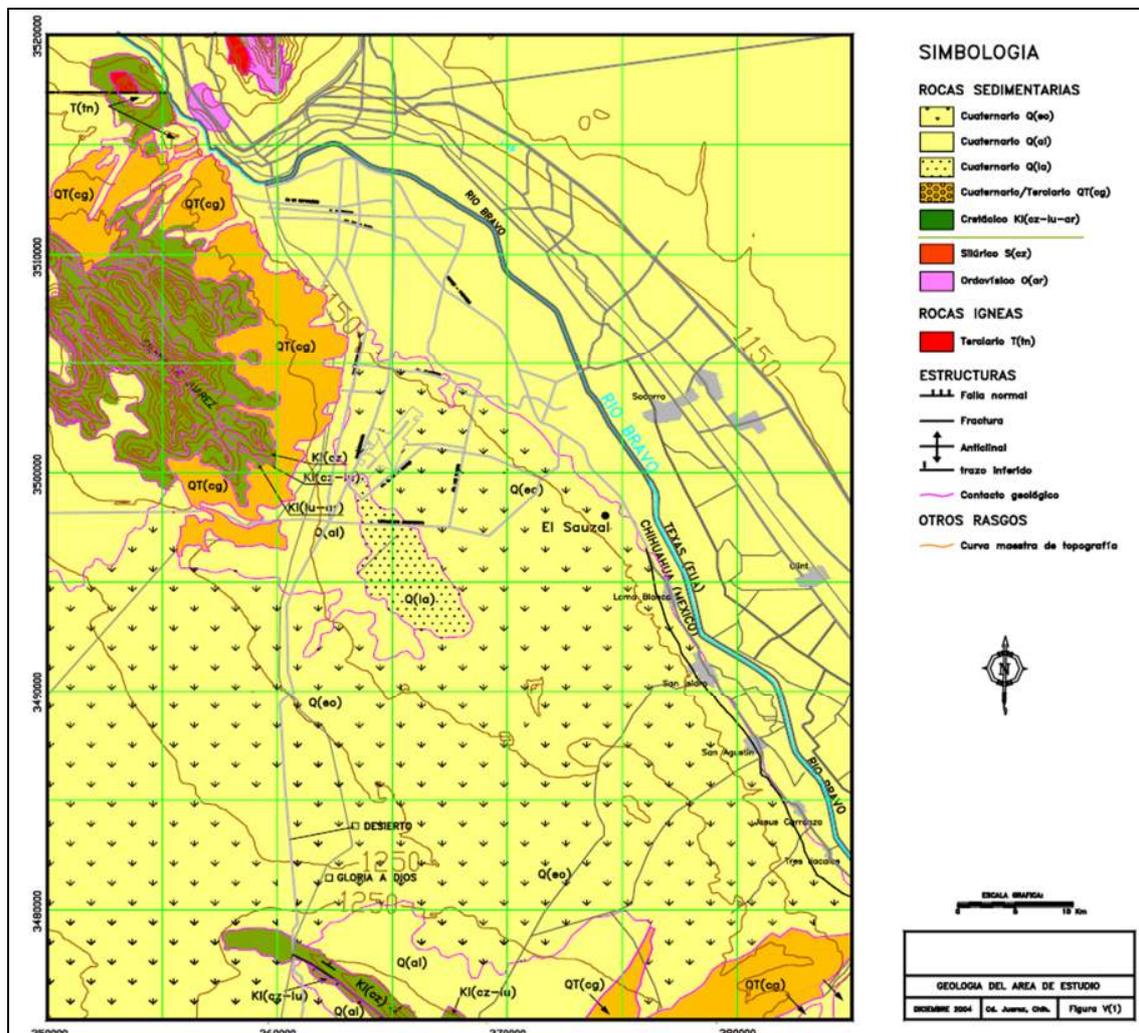


Figura 6. Geología del Valle de Juárez [1].

KYBALION CONSTRUCTORA S.A. DE C.V.
DMORALES@CONSTRUCTORAKYBALION.COM
DURANGO, DGO.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

El Cenozoico en la región evolucionó como un área continental: la cual es representada en el Terciario por rocas intrusivas de composición ácida e intermedia, y por depósitos conglomeráticos durante el Terciario, y por depósitos de sedimentos clásticos gruesos a finos de origen aluvial, lacustre, fluvial y eólico durante el Cuaternario. En la Figura 6 se presenta el plano geológico de acuerdo con un pozo perforado en la porción estadounidense, estos depósitos presentan un espesor máximo de 2743 m (Meyer, 1976), acuñándose hacia las estribaciones de las sierras que los limitan al este y oeste. En la porción mexicana del bolsón de acuerdo con un estudio de geofísica (Burgos, 1996), el espesor de los sedimentos es del orden de los 2000 m [1].

Estratigráficamente estos sedimentos de bolsón en donde presentan el máximo espesor, sobre yacen discordantemente a un granito de edad precámbrica, y más al este, a una formación calcárea del Paleozoico; y subyacen a los depósitos de edad cuaternaria consistentes en arenas eólicas y en sedimentos fluviales recientes.

En los pozos de agua potable de Cd. Juárez, los sedimentos de depósitos de bolsón perforados, consisten principalmente en estratos de arena, arcilla y ocasionalmente de grava. En forma general los depósitos de bolsón presentan una granulometría gruesa en las estribaciones de la sierra, y fina en el centro del valle, en ambos lados de la frontera internacional. Los sedimentos de bolsón presentan cuatro facies sedimentarias: depósitos de abanico aluvial, lacustres, fluviales y eólicos. (“Agua uso eficiente en viviendas de zona desértica”)

En la zona sur de la mancha urbana se encuentran depósitos de sedimentos lacustres, ubicados en una pequeña cuenca endorreica de extensión denominada El Barreal. En estos sedimentos el tamaño de partículas dominantes es el de las arcillas y arenas cementadas en los primeros metros, predominando los estratos arenosos a mayor profundidad. Localmente la geología de la zona está representada por sedimentos aluviales, eólicos y lacustres que sobre yacen a los sedimentos de bolsón, consistentes en estratos intercalados de arena y arcilla [2].

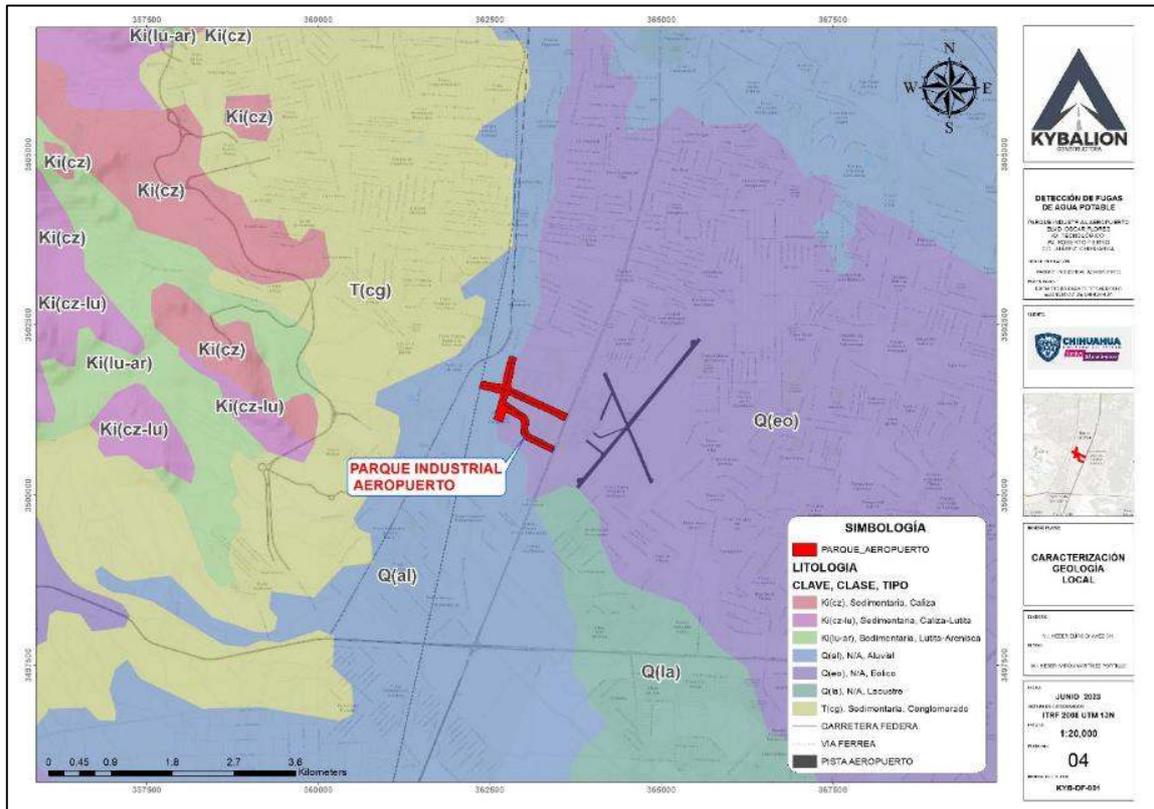
Geología de la zona de estudio

La geología de la zona está representada por sedimentos aluviales, eólicos y lacustres, consistentes en estratos intercalados de arena y arcillas, en estos sedimentos, el tamaño de las partículas dominantes es el de las arcillas y arenas cementadas en los primeros metros, a mayor profundidad predominan los estratos arenosos.

Los tipos de unidades que se encuentran es material aluvial Q (s), donde los materiales aluviales son contenidos por limos, arenas y gravas, o mezclas de dos o de los tres constituyentes (Figura 7). Los depósitos son de espesor y extensión muy irregular, desapareciendo o cambiando lateral y verticalmente su granulometría en forma gradual,

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

predominando generalmente, los estratos con alto contenido de grava y arcilla; y existiendo en menor proporción estratos de arena y/o arcilla [2].



2.4 TIPO DE SUELO

La carta edafológica del INEGI presenta de manera geográfica y de manera general los tipos de suelo de la extensión mexicana. En la zona de estudio se tiene presencia principalmente de suelos regosoles calcáricos los cuales son suelos sueltos de un color muy claro los cuales no presentan capas muy diferentes entre sí, en la zona presentan una textura gruesa por el contenido de limos arenosos y arcillas con contenidos de arena (Figura 8).

- **Regosoles calcáricos:** Son suelos de mando, cobija o capa de material suelto que cubre la roca. Este tipo de suelo se caracteriza por ser rico en cal y nutrientes para las plantas. Son suelos que presentan muy poco desarrollo y por ello no presentan capas muy diferenciales entre sí. En general son claros o pobres en materia orgánica, se parecen bastante a la roca de origen. Frecuentemente son someros,

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

su fertilidad es variable y su productividad está condicionada a la profundidad y pedregosidad.

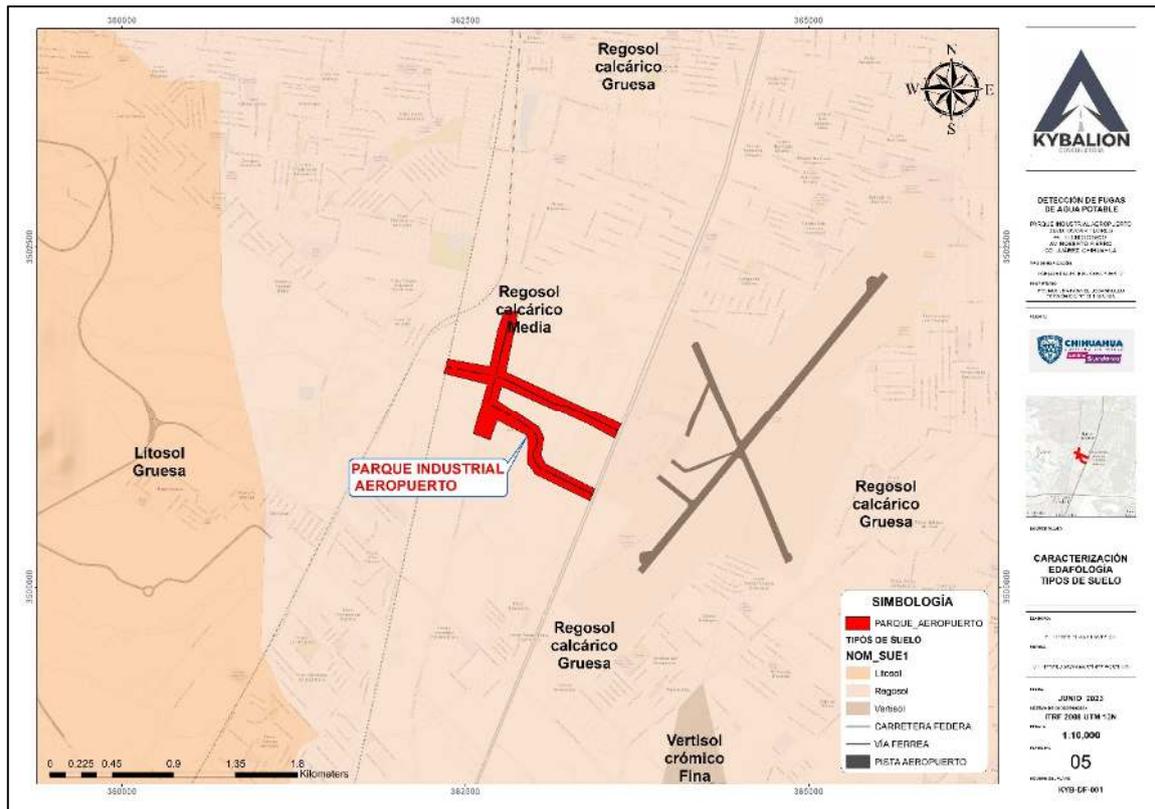


Figura 8. Tipos de suelo en la zona de estudio

- **Litsoles:** Suelos de piedra, se caracterizan por su profundidad menor de 10 centímetros, limitada por la presencia de roca, tepetate o caliche endurecido. "Su fertilidad natural y la susceptibilidad a la erosión es muy variable dependiendo de otros factores ambientales."
- **Vertisol Crómico:** Suelo que se revuelve o que se voltea, son suelos de color pardo o rojizo. Son de fertilidad moderada y con alta capacidad para proporcionar nutrientes a las plantas. Se caracterizan por su estructura masiva y su alto contenido de arcilla, la cual es expandible en húmedo formando superficies de deslizamiento llamadas facetas, y que por ser colapsable en seco pueden formar grietas en la superficie o a determinada profundidad. ("Edafología - mia.semarnat.gob.mx:8443")

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

La textura del suelo fina-media-gruesa, depende de su granulometría; donde suelos gruesos tienen altos contenidos de arenas y gravas y suelos finos son suelos arcillosos.

2.5 CARACTERÍSTICAS RELEVANTES DEL PARQUE PIA

Según la descripción del medio físico natural el Parque Industrial Aeropuerto, se encuentra en un valle con características desérticas. Donde el subsuelo se caracteriza por estar compuesto de depósitos de materiales granulares por sedimentación aluvial o eólica. Por lo que se pueden encontrar gravas y arenas principalmente. Estos materiales suelen tener características permeables, es decir que el agua de lluvia tiende a infiltrarse rápidamente.



Figura 9. Ubicación de vasos de captación dentro y fuera del parque PIA.

Es importante mencionar que por recomendación del Plan Sectorial de Manejo de Agua Pluvial (PSMAP) del Plan de Desarrollo Urbano Sostenible de Ciudad Juárez (PDUS), se debe disponer de un mínimo del 4% para superficie de captación, donde se determinará por medio de un estudio hidrológico los volúmenes de escurrimiento y caudales pico para periodos de retorno de 5, 25, 50 y 100 años. Así mismo se deberán tener obras de captación e infiltración pluvial en las zonas residenciales, industriales y comerciales.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

En el parque PIA se encuentran obras de captación e infiltración. Estas obras retienen los volúmenes de agua lluvia generados en la superficie del predio donde se ubican, e infiltran el agua lentamente al subsuelo. En la Figura 9 se muestra la ubicación de las obras de captación e infiltración identificadas por medio de recorridos de campo y análisis de imágenes satelitales.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

3 METODOLOGÍA, TÉCNICAS Y EQUIPOS

Los procesos y métodos están constituidos por técnicas que permiten obtener información de humedades persistentes en el tiempo, diferencias en los gradientes térmicos entre los flujos de agua y diferentes composiciones del subsuelo, información de direcciones preferenciales de flujo, información de composición y concentración de humedades actuales en el subsuelo e información de ubicación de tuberías. La medición y distribución de estos parámetros, permite inferir la ubicación de las tuberías de la red de distribución de agua potable y la ubicación de fugas emanadas de estas tuberías.

La aplicación de las metodologías descritas y su análisis en conjunto, corresponden a estudios indirectos, los cuales se pueden reforzar por medio de estudios directos (perforación y excavación directa, estudios de mecánica de suelos, estudios de remediación y/o elaboración de propuestas de remediación).

Las actividades desarrolladas en este estudio se pueden dividir en varias etapas, de las cuales las principales son: Mapeo y catastro de las redes hidráulicas de agua potable y detección de fugas.

En el Mapeo y catastro de la red hidráulica de agua potable se destacan las siguientes técnicas:

- Vuelo con Dron para obtención de ortofotos.
- Georradar de Penetración Terrestre (GPR)
- Levantamiento topográfico con GPS RTK.

La Detección de Fugas se realiza mediante la aplicación de las siguientes técnicas:

- Análisis de imágenes satelitales.
- Teledetección hiperespectral.
- Análisis e interpretación del gradiente térmico.
- Inspección indirecta por medio de Geófono y Georradar

A continuación, se hace la descripción de cada técnica empleada, así como el equipo utilizado. Las fichas técnicas de los equipos se muestran en el ANEXO 02_FICHAS TÉCNICAS EQUIPOS en la base de datos digital.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

3.1 MAPEO Y CATASTRO DE LA RED HIDRÁULICA

El mapeo y catastro de una red hidráulica tiene como objetivo contar con información precisa de las condiciones físicas de los componentes del sistema, así como la identificación y aproximación de las trayectorias de las redes no declaradas.

El catastro técnico de redes de agua potable ofrece las pautas necesarias para realizar actividades de operación, permite conocer el estado de la red, identifica de manera precisa y referenciada cada uno de los elementos de los sistemas que la componen, contribuye en el proceso de diagnóstico de las pérdidas físicas del agua, ayuda a conocer los detalles técnicos y operacionales de la totalidad de los elementos que conforman la red, facilita efectuar maniobras de operación y mantenimiento con seguridad y exactitud, puesto que se conoce la ubicación precisa de los diferentes elementos de la red.

En este proceso es importante realizar levantamientos topográficos, mapeo de trayectorias con Georradar de Penetración Terrestre (GPR), realizar vuelos con Dron para obtener imágenes aéreas de la zona de estudio, así como analizar la información disponible como planos existentes y recorridos con el personal operativo de la red hidráulica para el entendimiento de esta.

3.1.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Los trabajos corresponden al posicionamiento de puntos de control topográfico y configuración en general de los levantamientos en conjunto con la detección de tuberías, referenciados mediante al menos un punto de control geodésico (GPS, GLONASS), los cuales tendrán un margen de aproximación de 5 mm en las tres coordenadas x, y, z; para lograrlo se utilizarán los equipos necesarios. Además, en el punto de control posicionado con equipo receptor de datos GPS y GLONASS, se considera un nivel de confiabilidad del 95%; así mismo, los puntos de control topográfico donde no sea posible obtener señal de los satélites, serán posicionados con equipo de Estación Total, se considera utilizar equipos con precisión de 0.5" y 1.0" para garantizar no rebasar el margen de error.

El punto de control primario se deberá encontrar sobre una estructura permanente o bien se construirá una monumentación, de manera que ambas cumplan con la exactitud necesaria. Posteriormente, se realiza el levantamiento de la ubicación de las tuberías, con el fin de tener un mapeo georreferenciado del sistema de red de agua potable de la zona de estudio.

Para el levantamiento se utilizó la técnica Real Time Kinematic (RTK), la cual consiste en la obtención de coordenadas en tiempo real con precisión centimétrica (1 o 2 cm + 1ppm). ("LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO EN RTK - Ensayos de Calidad - Zero_av")

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

"Usualmente se aplica este método a posicionamientos cinemáticos, aunque también permite posicionamientos estáticos." ("Tecnología GNSS_Semana 1.pptx - SlideShare") Es un método diferencial o relativo. El receptor fijo o referencia estará en modo estático en un punto de coordenadas conocidas, mientras el receptor móvil o "Rover", es el receptor en movimiento del cual se determinarán las coordenadas en tiempo real (teniendo la opción de hacerlo en el sistema de referencia local). Precisa de transmisión por algún sistema de telecomunicaciones (vía radio-modem, GSM, GPRS, por satélite u otros) entre REFERENCIA y ROVER. Esta sería una restricción en la utilización de este método (dependencia del alcance de la transmisión). Sus aplicaciones son muchas en el mundo de la topografía, y van desde levantamientos, hasta replanteos en tiempo real, fundamentalmente.

El equipo utilizado es una antena GPS (estático) y un receptor GPS (cinemático), ambos de la marca EMLID Reach RS + el cual es un equipo de posicionamiento RTK que maneja una precisión centimétrica (Figura 10). En el Anexo 2. Fichas técnicas de equipos empleados; se encuentran los archivos de las fichas técnica y especificaciones de los equipos empleados.



Figura 10. Equipo RTK Emlid RS+.

3.1.2 FOTOGRAMETRÍA

En los últimos años el concepto de fotogrametría ha evolucionado de una manera radical, la utilización de tecnologías inteligentes como lo son los vehículos aéreos no tripulados (UAV) Dron, nos ha permitido el automatizar flujos de trabajo fotogramétrico que antes eran impensables, estas dinámicas innovadoras que han venido a revolucionar la obtención de datos topográficos para la descripción del territorio, así como el contribuir al

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

desarrollo de actividades geospaciales, misma que nos ha sido de gran apoyo en la reducción de los tiempos y el aumento de la cantidad y calidad de información

Esta metodología implica el vuelo de naves no tripuladas o Drones, con la finalidad de obtener fotografías aéreas de la zona de estudio, para realizar el procesamiento de ellas para obtener una ortofoto. Una ortofoto se genera a partir de fotografía aéreas que han sido tomadas por medio cámaras fotográficas con drones.

La ortofoto es una presentación fotográfica de una superficie terrestre o una proyección ortogonal, formada a partir de una fotografía en proyección central mediante rectificación diferencial, con la misma escala y relación con un plano cartográfico. La obtención de imágenes aéreas se realizó a través de vuelos con un DRON DJI Phantom 4 que cuenta con un sistema de posicionamiento GPS/GLONASS y una cámara de 20 mega pixeles.



Figura 11. DRONE DJI Phantom 4.

Los trabajos en sitio para realizar la toma de imágenes aéreas por medio de vuelos fotogramétricos se detallan en los siguientes puntos:

1. **Planeación de los trabajos.** Este desarrollo considera una planeación estratégica, donde la última revisión del trazo geométrico virtual de una trayectoria se analiza el búfer de vuelo, así como la identificación estratégica de puntos de control, información que se genera en sistemas geospaciales de representación gráfica para con ella hacer la identificación y ubicación en campo de los puntos de control.
2. **Control Geodésico, monumentación de puntos geodésicos para la diversificación de puntos de control.** La Geodesia siempre ha formado parte fundamental en cualquier proyecto ya que como ciencia estudia las formas y dimensiones de la tierra. Esto incluye la determinación del campo gravitatorio externo de la tierra y la superficie del fondo oceánico. Dentro de esto, se incluye también la orientación y posición de la tierra en el espacio. ("Geodesia - Instituto Geográfico Nacional") Todos y cada uno de los trabajos que se realizan de manera puntual y precisa los conceptos

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

geodésicos, normas específicas tanto internacionales como nacionales, con ello se brinda la calidad y precisión geodésica para el proyecto.

3. **Instalación de puntos de control. (para los vuelos del dron).** En fotogrametría se le conocen como: GCP (Ground Control Point), estos puntos son ubicados dentro del área de interés de una manera estratégica considerando la forma y figura del terreno, tanto en su figura planimétrica como sus relieves altimétricos a representar, los cuales se recomienda estar distribuidos de manera equidistante en lo posible, evitando la aglomeración en un sector y la colocación exagerada de puntos. La señalización en campo de estos puntos se representa a manera de marcas, mismas que de manera estratégica para una buena visualización en cada uno de los fotogramas se emplean diferentes materiales, como: lonas cuadrículadas, pintura líquida, pintura en aerosol o marcas propias que existan en el contexto geográfico de la zona de estudio. Este procedimiento de trabajo incluye la diversificación geodésica, misma que se desencadena del paso anterior, en la cual cada uno de los puntos de control se le asigna con equipo GNSS su ubicación geodésica puntual, para que con esa información al momento del procesamiento fotogramétrico se le asignen coordenadas específicas a los modelos fotogramétricos en las aerotriangulaciones correspondientes del procesamiento.
4. **Realización de vuelo fotogramétrico.** Vuelo realizado con equipo de última tecnología empleando la metodología de posicionamiento de la aeronave con PPK, para la identificación geodésica de cada fotograma por medio de equipo GNSS en tierra, para la realización del vuelo se consideran todos los parámetros climatológicos y atmosféricos para el óptimo rendimiento, la captura o recolección de información de campo por medios gráficos es el insumo principal de los trabajos fotogramétricos.
5. **Procesamiento de imágenes Geoetiquetado PPK.** Etapa de confiabilidad de las fotografías, la cual consta de asignarles coordenadas o posicionamiento a cada uno de los fotogramas para obtener calidad en el modelo fotogramétrico, la cual se asigna por medio de software especializado, archivos RINEX del punto observado, punto ya establecido desde el control geodésico y los metadatos propios de las fotografías capturadas.
6. **Procesamiento Fotogramétrico.** Utilizando programas especializados, el objeto de este paso es construir un objeto en tres dimensiones a partir de fotografías en dos dimensiones, procesamiento meramente matemático en el cual para poder obtener la confiabilidad de los modelos, por medio de la orientación interna se le asignan las coordenadas de los puntos de control a las fotografías capturadas en el vuelo fotogramétrico, considerando a su vez, que cada fotografía ya cuenta con una asignación de posición en su centro geométrico, el cual se le asigno en el geoetiquetado, una vez que se realiza la orientación interna, se realiza la orientación relativa la cual genera un modelo de visualización en conjunto con una



DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.

Fecha revisión

No. Revisión

Fecha elaboración

08 de junio 2023

orientación externa y la orientación absoluta, podemos trasladar el modelo fotogramétrico a las coordenadas y valores del terreno o de la zona de estudio. Posteriormente a los cálculos matemáticos, se procede a trabajar en las dos metodologías que considera la fotogrametría, la técnica Structure from Motion y la restitución fotogramétrica, para la explotación de resultados.

7. **Generación de resultados y modelos.** Los resultados fotogramétricos que se obtienen se basan en gemelos digitales de la zona de estudio, los cuales comprenden de modelos digitales tanto de terreno como de superficie, ortofotos de calidad, nubes de puntos clasificadas, información planimétrica y altimétrica obtenida por medio de restitución fotogramétrica.

3.1.3 GEORRADAR DE PENETRACIÓN TERRESTRE (GPR)

Los estudios de Georradar de Penetración Terrestre (GPR), consisten en medir variaciones de la constante dieléctrica en el régimen de desplazamiento del campo electromagnético. Estas mediciones permiten detectar detalles ocultos de las estructuras tales como la presencia de varilla de refuerzo, zonas de daño como oquedades o fracturas, así como la presencia de objetos que sean conductivos. El procedimiento consiste en desplegar o arrastrar la antena sobre la superficie a estudiar y en la pantalla de interpretación y modelado se van desplegando los registros en tiempo real de las discontinuidades encontradas (Figura 12).

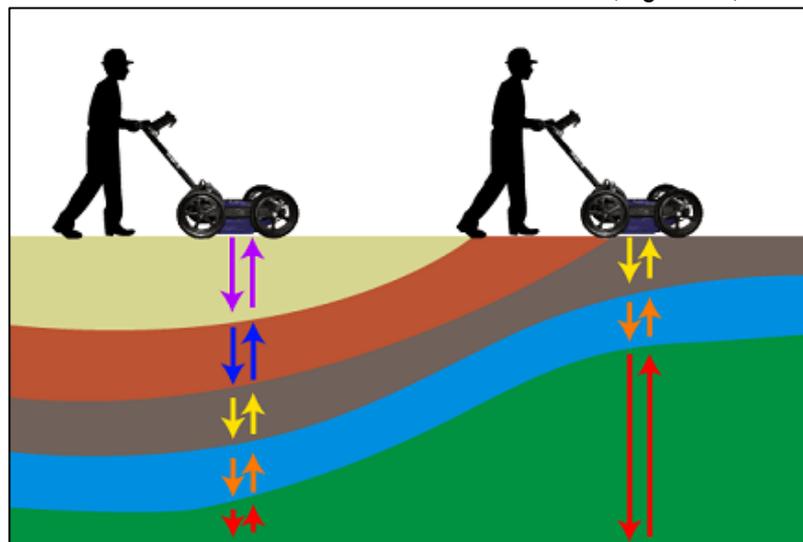


Figura 12. Antena de GPR. Fuente: <https://www.cotecno.cl/tecnologia-gpr-vs-tecnologia-rayos-x/>

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

Es una técnica no destructiva orientada al estudio del suelo superficial y que se fundamenta en la capacidad de las ondas de radar para propagarse a través de medios poco conductivos, por lo que opera dentro del rango de frecuencias (MHz) sensibles a las variaciones o contrastes del parámetro físico de la constante dieléctrica. Este método emplea dos antenas, la primera que es la que emite pulsos electromagnéticos y la segunda antena los recibe. Estos pulsos que se emiten son una fuente de onda que es parcialmente reflejado al encontrar una discontinuidad o un cambio de material en el subsuelo, así, pudiendo ser detectado en la superficie mediante una antena receptora [3].

Esta técnica permite identificar tuberías hasta una profundidad de 10 m (según permita la superficie y tipo de subsuelo de la zona de estudio), en el cual, por medio de las discontinuidades generadas por la excavación para la instalación de tuberías y el propio cuerpo de la tubería, es posible localizar su ubicación y profundidad.

El georradar es un equipo de prospección geofísica que utiliza señales electromagnéticas las cuales son enviadas al subsuelo por medio de un grupo de tres antenas transmisoras y recibida por tres antenas receptoras las cuales se encuentran dentro de una caja de plástico aislada de interferencias exteriores. Esta caja está montada sobre una base con ruedas para facilitar el movimiento del equipo, también tiene un par de baterías externas y una tableta controladora la cual está conectada a las antenas vía cable de red.

El equipo empleado fue el US RADAR Quantum Imager de triple frecuencia, con una antena triple (Multi-bandwidth GPR) y una interfaz Getac con CPU de alto rendimiento para la interpretación y modelado (Figura 13).



Figura 13. Georradar Us Radar Quantum Imager. Fuente: <https://georadares.com.mx/productos/us-radar/quantum-imager/>

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

3.2 DETECCIÓN DE FUGAS

Con la implementación de diferentes técnicas y tecnologías, es posible identificar la huella espectral del agua. En este estudio se identifican las zonas con potencial de humedad por producto de fugas en el sistema de agua potable.

3.2.1 ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES

Mediante la aplicación de varias técnicas de imágenes satelitales es posible procesar e interpretar la información de la huella espectral del agua. El agua, en estado líquido tiene la propiedad de absorber la energía por lo cual puede ser detectada tanto con satélites pasivos como activos. Una de las características es que se pueden reconocer por tonalidades más oscuras por la propiedad antes descrita, por el contrario, en estado sólido (hielo), refleja la energía [4].

Los fundamentos físicos de la teledetección espacial se basan en la medida de la radiación electromagnética emitida o reflejada por los objetos, como respuesta a la incidencia de una radiación natural (luz solar) o artificial (radar). Si hablamos de radiación electromagnética natural nos referimos a teledetección pasiva y si hablamos de radiación electromagnética artificial nos referimos a teledetección activa. Cualquier sistema de teledetección se compone de tres elementos básicos: el sensor, el objeto y un flujo energético electromagnético que permite realizar una asociación entre el objeto y el sensor. Podemos definir a la teledetección espacial como la ciencia que describe las mediciones de propiedades físicas de los objetos obtenida a distancia desde un sensor [5].

La energía electromagnética es una clase de energía que se transmite a través de ondas y resulta de la propagación simultánea en el espacio de un campo eléctrico (E) y un campo magnético (B) variables y por tratarse de una onda podemos asociar una longitud de onda (l) o frecuencia (F). Esta energía puede ser clasificada por medio de las distintas longitudes de onda (l) o frecuencias (F) en lo que llamamos espectro electromagnético. En la Figura 14 se muestra el espectro electromagnético, con el cual es posible identificar el espectro visible en función de un color.



DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.

Fecha revisión

No. Revisión

Fecha elaboración
08 de junio 2023

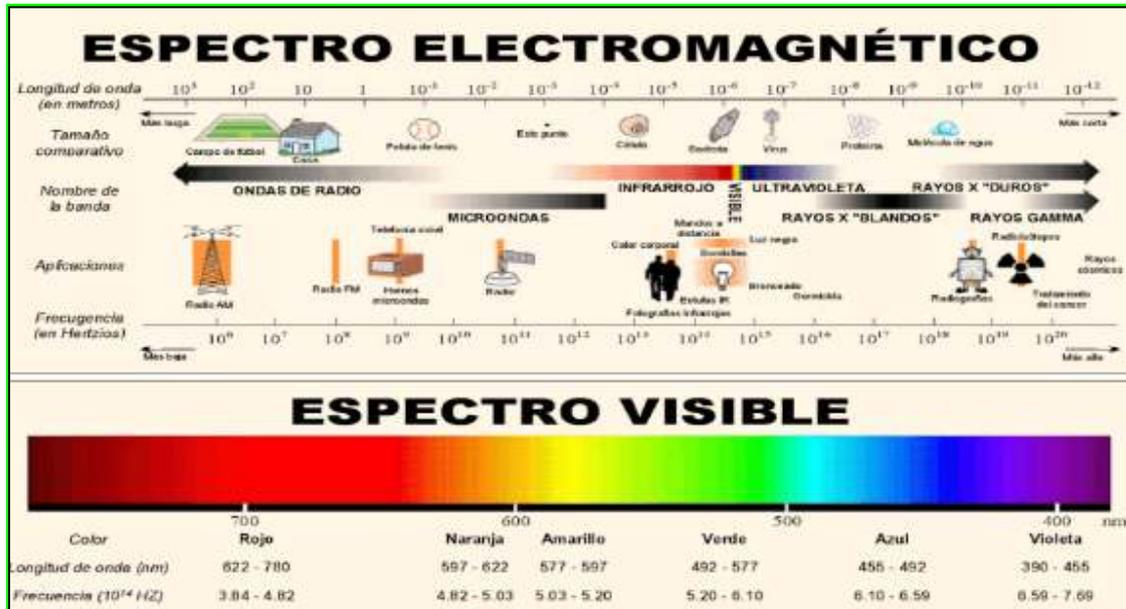


Figura 14. Espectro electromagnético. Fuente: <https://es.wikipedia.org/>.

En el proceso de análisis satelitales la distancia entre la superficie terrestre y la plataforma determina el detalle de la información y la superficie total captada por el sensor. El detalle de la imagen satelital puede ser medido por la resolución espacial. La resolución espacial está dada por el tamaño de cada pixel de la imagen proyectada sobre la superficie terrestre y se refiere al tamaño de la característica más pequeña que puede ser detectada. En una imagen satelital, los elementos de interés pueden ser distinguidos mediante la comparación de las curvas espectrales. Por ejemplo: el agua, la vegetación y los minerales tienen una respuesta diferente a la energía electromagnética de reflectancia.

Las imágenes satelitales no son más que datos que se toman con dispositivos llamados sensores, que tienen la capacidad de poder capturar las distintas radiaciones electromagnéticas provenientes de los objetos situados en la superficie terrestre.

Independientemente de las bandas que se incluyan en la composición, conviene considerar algunos aspectos sobre el proceso que permite obtener esas composiciones en color. La mezcla de tres bandas espectrales en una composición en color puede conseguirse de acuerdo con dos procesos, denominados aditivo y sustractivo. En el proceso aditivo, cualquier color se obtiene por suma de los tres colores elementales o primarios: azul + verde + rojo. La suma de dos colores primarios permite lograr un color complementario: azul + verde = cian, azul + rojo = magenta, y verde + rojo = amarillo. Por el contrario, el proceso sustractivo se basa en la absorción de la luz que ejercen los colores

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

complementarios: el cian absorbe la luz roja, el magenta absorbe el verde y el amarillo el azul. Los tres en combinación forman el negro [5].

Aplicando esta técnica podemos obtener un mapeo general de posibles fugas con una precisión de 30 - 50 metros (polígonos en forma irregular donde se muestran las humedades persistentes); es importante mencionar que no todas las zonas identificadas con humedad persistente en el periodo de tiempo que corresponda para la zona de estudio, se pueden considerar fugas. Se cuenta con la enorme ventaja de realizar dicho análisis en polígonos de diversas extensiones, sin importar esto, para un área mínima de estudio.

3.2.2 TELEDETECCIÓN MULTIESPECTRAL

La teledetección es el conjunto de técnicas utilizadas para la determinación a distancia de las propiedades de los objetos ya sean estos naturales o artificiales. Expresándolo de otra manera la teledetección consiste en adquirir información acerca de la superficie de la Tierra sin la necesidad de estar en contacto con ella. La idea es detectar y registrar la energía reflejada por la superficie terrestre para luego procesarla, analizarla y utilizarla en alguna aplicación específica [6]. En un proceso de la teledetección podemos identificar siete elementos principales: La fuente de energía o iluminación; la radiación y atmosfera; interacción con la superficie de interés; registro de la energía mediante el sensor; proceso de transmisión; recepción y procesamiento; interpretación y análisis; y la aplicación.

La teledetección (sensores remotos) es la ciencia de adquirir y procesar información de la superficie terrestre desde sensores y otros instrumentos instalados en plataformas espaciales, aviones y dirigibles, gracias a la reflectancia, es decir, la interacción de la energía electromagnética que existe entre el sensor y la tierra. Los sensores remotos han tenido un rol importante en la clasificación de cultivos, sanidad vegetal y evaluación de rendimientos. Diferentes relaciones o razones de datos multiespectrales y esquemas de clasificación se han aplicado dependiendo del área geográfica, diversidad de cultivos, tamaño del campo, fenología del cultivo, y condiciones del suelo. ("Análisis multiespectral de la vegetación para aplicaciones ... - SciELO")

Utilizando el cálculo de bandas en específico en NDWI, (Índice Diferencial de Agua Normalizado) podemos identificar masas de agua y zonas de elevada saturación de humedad por medio del análisis de imágenes multiespectrales. De esta forma podemos emplear el índice como unidad de medida para determinar el estrés hídrico en vegetación, saturación de humedad en suelo o realizar delimitaciones directas de masas de agua como lagos y embalses.

La resolución espectral para un sistema de teledetección está determinada por el número de bandas espectrales que el sensor puede detectar. Comúnmente un satélite de teledetección cuenta con 4 bandas: rojo, verde, azul, e infrarrojo. Pero hay sensores que

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

producen imágenes multispectrales que tienen unas 10 o 15 bandas. Entonces, la resolución espectral determina la capacidad del sensor para detectar los rangos de espectro de la aplicación para la que fue diseñada.

Una imagen digital está compuesta por píxeles, cada píxel tiene un valor para cada banda espectral, este valor es la representación numérica de la cantidad de energía electromagnética reflejada captada por el sensor, y esta representación numérica puede ser representado en bits. Entonces, el número de bits necesarios para la representación del valor numérico define la resolución radiométrica del sistema de teledetección. Las características radiométricas definen la sensibilidad del sensor para detectar la mínima magnitud de energía electromagnética, por lo que, mientras el sistema tenga mayor resolución radiométrica, entonces la capacidad para discriminar diferencias muy leves en energía es mayor [6].

El objetivo de esta técnica es identificar masas de agua y zonas de elevada saturación de humedad por medio del análisis de imágenes Multiespectrales. (“Cálculo del índice NDWI - Gis&Beers”) Las imágenes multispectrales se obtienen por medio de sensores instalados en una cámara RGB y un conjunto multispectral de 5 cámaras que cubre las bandas azul, verde, rojo, borde rojo e infrarrojo cercano; instalados a un Dron DJI Phantom P4 multispectral (Figura 15).



Figura 15. DJI Phantom P4 multispectral.

3.2.3 GRADIENTE TÉRMICO

Las radiaciones infrarrojas se encuentran entre las zonas visibles e invisibles del espectro electromagnético. La principal fuente de radiación infrarroja es el calor o radiación térmica. (“TERMOGRAFÍA COMO MANTENIMIENTO PREDICTIVO v3 - Juan Palacios”) Cualquier objeto que tenga una temperatura por encima del cero absoluto (-273,15 °C y 0 K) emite una radiación en la zona de infrarrojos. Incluso aquellos objetos que pensamos pudieran estar muy fríos como el hielo, emiten radiación. Estamos expuestos a la radiación infrarroja cada día; el calor que sentimos del sol, de un fuego o de un radiador también es

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

infrarrojo. (“TERMOGRAFÍA COMO MANTENIMIENTO PREDICTIVO v3 - Juan Palacios”) Aunque nuestros ojos no pueden verlo, los nervios de nuestra piel pueden sentirlos como calor. Cuanto más caliente esté el objeto, mayor cantidad de radiación infrarroja emitirá [7].

La termografía es una tecnología, que no necesita de contacto, que se basa en la medida de longitudes de onda infrarrojas para determinar temperaturas desde una distancia segura. Una cámara termográfica proporciona una imagen que utiliza distintos colores para representar las diferentes temperaturas. Esta imagen acelera la comprobación visual de las temperaturas de superficie e identifica los puntos calientes. (“TERMOGRAFÍA COMO MANTENIMIENTO PREDICTIVO v3 - Juan Palacios”) Los puntos calientes o los aumentos de la temperatura normalmente indican un fallo inminente [7].

Esta metodología consiste en la toma de imágenes infrarrojas para determinar el gradiente termográfico de la superficie por medio de un vuelo de Dron, en el cual por medio de los gradientes térmicos de los materiales del suelo (cubierta, asfaltos, concretos, vegetación, etc.), es posible determinar las humedades existentes, las cuales se producen debido al flujo de agua y fugas en las redes de tuberías de agua potable y redes de alcantarillado.

3.2.4 TRAYECTORIAS EQUIPOTENCIALES

Las trayectorias equipotenciales son direcciones trazadas por líneas equipotenciales las cuales representan magnitudes de igual altitud. En el caso de altitud pueden ser valores o mediciones que estén georreferenciadas sobre una proyección ortogonal. Con esta representación es posible determinar movimiento de agua a lo largo de una superficie equipotencial.

La determinación de las trayectorias equipotenciales para determinar la dirección del flujo de agua en el subsuelo nos ayuda a entender la dirección de humedad producido por movimiento de agua por efecto de fugas. Esta técnica nos ayuda a identificar la zona potencial de donde se produce la humedad asociada a una fuga existente, siguiendo la dirección detectada de flujo. Cabe mencionar que esta técnica depende de la homogeneidad del subsuelo y del tipo de material existente; por ejemplo, en suelos donde abundan las arenas, el flujo de agua tiende ser de forma vertical, ya que se infiltra con mayor velocidad a hacia abajo; en cambio en suelos con mayor contenido de materiales finos como arcillas y limos, donde la velocidad de infiltración es menor, tiende a infiltrarse en el sentido vertical y horizontal, y en algunos casos ascienden a la capa superior por efecto de la capilaridad.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

3.2.5 DETECCIÓN ACÚSTICA DE FUGAS

La interpretación acústica que se genera por el flujo de agua en una tubería, la vibración de los accesorios o el sonido que produce una fuga en una red hidráulica, son indicadores del funcionamiento. Los sonidos que escuchemos a través de accesorios conectados a las tuberías se escuchan distintos a aquellos que escuchemos directamente desde el suelo. Es por esto por lo que existen distintos micrófonos, específicos para cada aplicación.

Dependiendo de la magnitud del sonido y la frecuencia que este tiene, es posible diferenciar entre un alto flujo o consumo de agua, fallas en accesorios (vibraciones en válvulas, por ejemplo) o fugas.

"Por excelencia los equipos usados para ubicar el lugar exacto de una fuga son los geófonos, ya que alrededor del 90 % de las fugas de agua en una red presurizada producen ruido." ("Detección de fugas de Agua: Geófonos. Parte I - R&M") Cuando una tubería tiene rotura, en el lugar de la fuga sale agua, por lo que suelen producirse dos escenarios:

1. La salida de agua genera vibraciones en la propia tubería; pueden escucharse estas vibraciones generadas por una fuga incluso si el punto de contacto está lejos de la fuga (válvulas, hidrantes, acometidas a edificios, etc.). Ver Figura 16.
2. El agua saliendo en el punto de fuga genera sonidos que se transmiten por el terreno hasta la superficie; por lo tanto, con la ayuda de un micrófono tipo campana (o barril), para suelo se recogen estos sonidos presentándose gráficamente su volumen y espectro de frecuencia. Ver Figura 17.

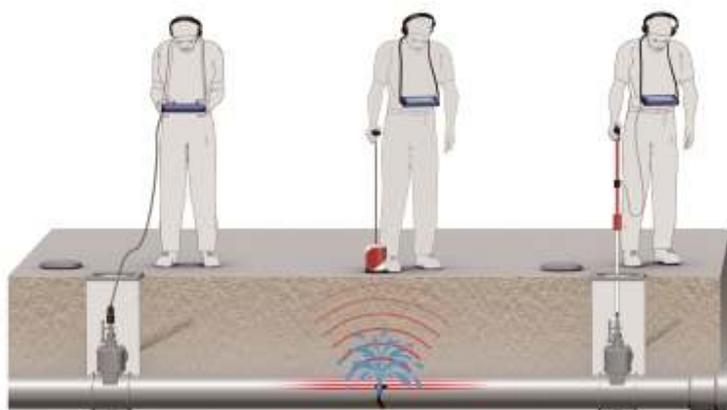


Figura 16. Inspección de fuga sobre la tubería. <https://www.fastgmbh.de/es/productos/microfonos-acusticos/aqua-m300>.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

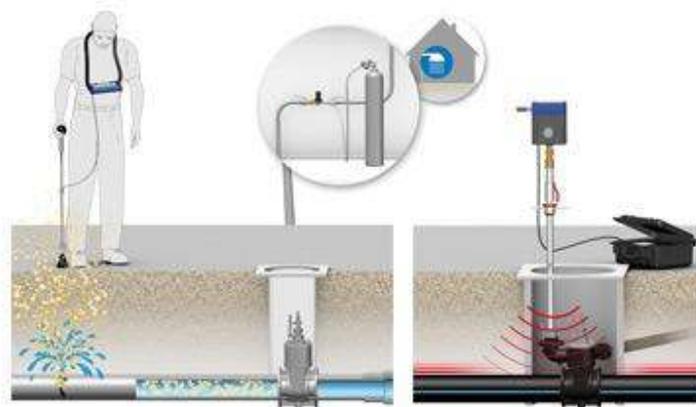


Figura 17. Inspección de fuga sobre superficie. <https://www.fastgmbh.de/es/productos/microfonos-acusticos/aqua-m300>.

El equipo empleado en las inspecciones fue el AQUA M300, que es un geófono inteligente para la detección de fugas (Figura 18).

AQUA M300

Geófono inteligente para la detección de fugas.



Figura 18. Geófono AQUA M300.

3.3 LIMITACIONES DE LAS TÉCNICAS EMPLEADAS

La principal limitación en la ejecución de todo trabajo de campo es el acceso a los predios, en especial cuando los predios pertenecen a un ajeno a la zona del proyecto. Por lo que no tener acceso a zonas de interés puede ocasionar que no se tenga la información completa y puede influir en los resultados de las demás zonas.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

Otra limitación es aplicar las técnicas directas en vialidades o avenidas principales, ya que el tráfico juega un papel importante en la calidad o cantidad de parámetros que se pueden medir. Además de que el tráfico pesado suele generar pequeñas vibraciones que pueden ocasionar interferencias en las lecturas y mediciones realizadas.

Análisis de imágenes satelitales y aéreas tomadas con Dron

El análisis de teledetección de imágenes hiperespectrales y multiespectrales obtenidas por medio de satélites y sensores instalados en drones, promete ser rápido y eficiente que puede sustituir algunos trabajos de campo, logrando abarcar grandes áreas en poco tiempo. Sin embargo, dado que suele ser información robusta y con poca sensibilidad a pequeños cambios en las condiciones reales, puede ofrecer incertidumbres o datos que difícilmente se pueden corregir desde una computadora. Por lo que las limitaciones presentadas en estas técnicas se describen a continuación:

- La forma geométrica en la que un cuerpo refleja energía es de vital importancia. Por ejemplo, el ángulo en el que incide la energía es igual al ángulo de energía reflejada. Otro caso es la reflexión difusa, ya que depende la forma de la superficie.
- Imágenes con pixeles muy grandes en imágenes satelitales. Las cuales pueden deformar cierta información y ser irreconocible o inservible para toma de decisiones.
- Error en correlación o normalización de la información de los sensores por interferencias debido a las distorsiones cónicas por mala reconstrucción.
- La información de las imágenes satelitales está sujeta a la fecha de la toma de las imágenes.

En la toma de información por medio de sensores se pueden tener los siguientes errores:

- Distorsión tangencial. Este problema se da en sensores de barrido transversal y surge debido a que el espejo giratorio del escáner rota a una velocidad angular constante, mientras que la unidad de resolución del terreno para cada instante de captura es diferente (más a medida que incrementa la distancia desde el nadir).
- Variación en el tamaño de la unidad de resolución en el terreno (figura 33). El tamaño de la unidad de resolución en terreno varía a medida que el barrido se aleja del nadir.
- Errores debido a la topografía. Mayor en la medida en la que más altura tenga un cuerpo a representar y más alejado esté del nadir.

Georradar

La técnica GPR tiene limitaciones, ya que diferentes condiciones del suelo o superficie generan radargramas con perfiles poco resolutivos y con interferencias, alterando extravagantemente los perfiles y resultados.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

Los factores principales que pueden generar alteraciones o interferencias en la interpretación de los perfiles son:

- Terrenos removidos.
- Suelos arcillosos con granulometría variable, debido a que la arcilla tiene una capacidad de absorción de electromagnetismo muy alta, lo cual no permite que la señal llegue a capas inferiores.
- Los terrenos con superficie truncada o con cantos (escombro, basura, etc.) no permiten el tránsito continuo y constante de las antenas, con lo que los perfiles presentan “saltos” que dificultan la interpretación.
- El espacio de la zona de exploración, ya que al ser necesario pasar directamente por encima del área a revisar y no se cuenta con el espacio suficiente, no es posible realizar las mediciones.
- Vegetación muy densa.
- Flujos vehiculares sobre avenidas y calles principales, limitando la toma de información de campo.

En el predio se tuvieron problemas de medición por los tres factores antes mencionados, ya que el suelo se encontraba removido con alto contenido escombro de gran tamaño, provocando brincos e interferencias en los radargramas. Se muestran fotografías de los escombros y evidencias del predio.

En el predio se presentaron problemas de medición debido a algunos factores antes mencionados:

- Presencia de materiales con contenido de arcilla
- Se realizaron los trabajos en vialidades de alta circulación, y al ser un equipo de mediano tamaño se ocupaba espacio en los carriles de circulación, dificultando las actividades debido al alto flujo de vehículos en la zona de trabajo.
- Se encontraron áreas con alta presencia de vegetación y presencia de escombros, lo que imposibilitaron la circulación del equipo
- Zonas del sistema dentro de rejas o predios particulares donde no se logro acceder a realizar trabajos con el equipo GPR.

Geófono

El geófono por ser una técnica de inspección directa suele tener limitaciones cuando no se tiene acceso directo a la tubería por medio de cajas de válvulas, registros y/o tomas domiciliarias. Además, al utilizar el barril para las mediciones desde superficie, pueden

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

afectarse las mediciones por vibraciones causadas por los movimientos sísmicos o mecánicos que se encuentren en la zona. Las limitaciones principales de la técnica en los trabajos de campo fueron:

- Vibraciones efectuadas por el tráfico de las vialidades.
- No se tiene acceso algunos tramos de red porque no tienen registros intermedios.
- Posible vibración transmitida a la toma del medidor de los equipos y maquinas en el interior de los predios.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

4 EJECUCIÓN DE LAS TÉCNICAS Y SUS RESULTADOS

En este punto se mencionan los trabajos realizados en campo, donde se aplicaron y ejecutaron las técnicas antes descritas. En este apartado se mencionan los resultados obtenidos con cada técnica y metodología, así mismo se presentan los resultados por medio de mapas y planos elaborados en herramientas de análisis geoestadísticos y Sistemas de Información Geográfica (SIG). En el ANEXO 03_ TRABAJOS DE CAMPO en la base de datos digital se encuentra información relevante a los trabajos de campo y relacionados con el mapeo y catastro.

4.1 MAPEO Y CATASTRO DE TUBERÍAS

4.1.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE LA RED DE TUBERÍA

Para determinar la ubicación de las fugas fue necesario realizar un levantamiento topográfico del mapeo de tuberías, por lo que durante los recorridos del mapeo con Georradar se colocaron marcas con aerosol sobre el pavimento, las cuales se midieron por medio de un equipo GPS RTK, obteniendo las coordenadas XYZ de los puntos mapeados.

Se colocó un punto de control temporal para tener la misma referencia espacial en la zona de trabajo. El punto de control se colocó sobre una varilla en el predio donde se ubica el pozo 1; se realizó un postproceso para ligarlos con la estación permanente IMIP (Cd. Juárez), la cual pertenece a la Red Geodésica Nacional Activa del INEGI; ubicada en ciudad Juárez. En la Figura 19 se muestran las coordenadas de la estación ICHI. En la Figura 19 se muestra la ficha técnica donde se muestran las coordenadas UTM y Geográficas, así como una imagen de su ubicación.

Con el punto de control de referencia "PC-01", se realizó un levantamiento de los registros de agua potable de la línea principal para conocer la ubicación espacial de las marcas y realizar la detección de tubería con el objetivo de dibujar las líneas de agua potable, para poder georreferenciar cada una de las técnicas empleadas en campo y tener una misma referencia espacial en planta.



**DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL
PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN
CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.**

Fecha revisión

No. Revisión

Fecha elaboración
08 de junio 2023



FICHA TÉCNICA PUNTO DE CONTROL

PROYECTO: PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO (PIA)
UBICACIÓN: CD. JUÁREZ, CHIHUAHUA
PUNTO DE CONTROL: PC-01



FECHA DE MEDICIÓN: 03/04/2023
NOMBRE DE ESTACIÓN RGNA INEGI: IMIP (CD. JUÁREZ)

DATUM: ITR08 **ÉPOCA:** 2010.00 **ZONA:** 13N **MOD. GEOIDAL:** GGM10

COORDENADAS UTM ESTE (X) 362668.198 **NORTE(Y)** 3501168.182 **H. ORT=** 1189.735

COORDENADAS GEOGRAFICAS LAT(N): 31.637511 **LONG(W):** -106.448195 **H. ELP=** 1165.026

FACTOR DE ESCALA COMBINADA: 0.999832639



DESCRIPCIÓN: SE ENCUENTRA SOBRE UNA VARILLA

Figura 19. Ficha técnica del punto de control.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023



Figura 20. Fotografía del levantamiento topográfico.

Dentro de las actividades del mapeo se ubicaron las tapas de los registros de agua potable, midiendo las coordenadas XYZ en formato UTM. Se abrieron las tapas con apoyo del personal operativo del parque.

El objetivo de abrir las tapas es identificar los accesorios y condiciones en las que se encuentran, donde se encontraron registros azolvados o inundados impidiendo realizar la identificación, se midieron profundidades al lomo de las tuberías desde el nivel superior de la tapa. También fue necesario limpiar, desazolvar y vaciar los registros inundados para poder identificar la fuente de humedad y/o agua. En la Figura 21 se muestra una fotografía con los trabajos de inspección sobre un registro, en el cual se tuvo que vaciar con una bomba de lodos para poder realizar la inspección.

En la Figura 22 se muestra el levantamiento proporcionado por PRODECH donde se ubican los puntos del levantamiento topográfico. Se utilizó una imagen satelital de fondo para referencia del parque industrial.



DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.

Fecha revisión

No. Revisión

Fecha elaboración

08 de junio 2023



Figura 21. Trabajos de inspección en los registros o cajas de válvulas.

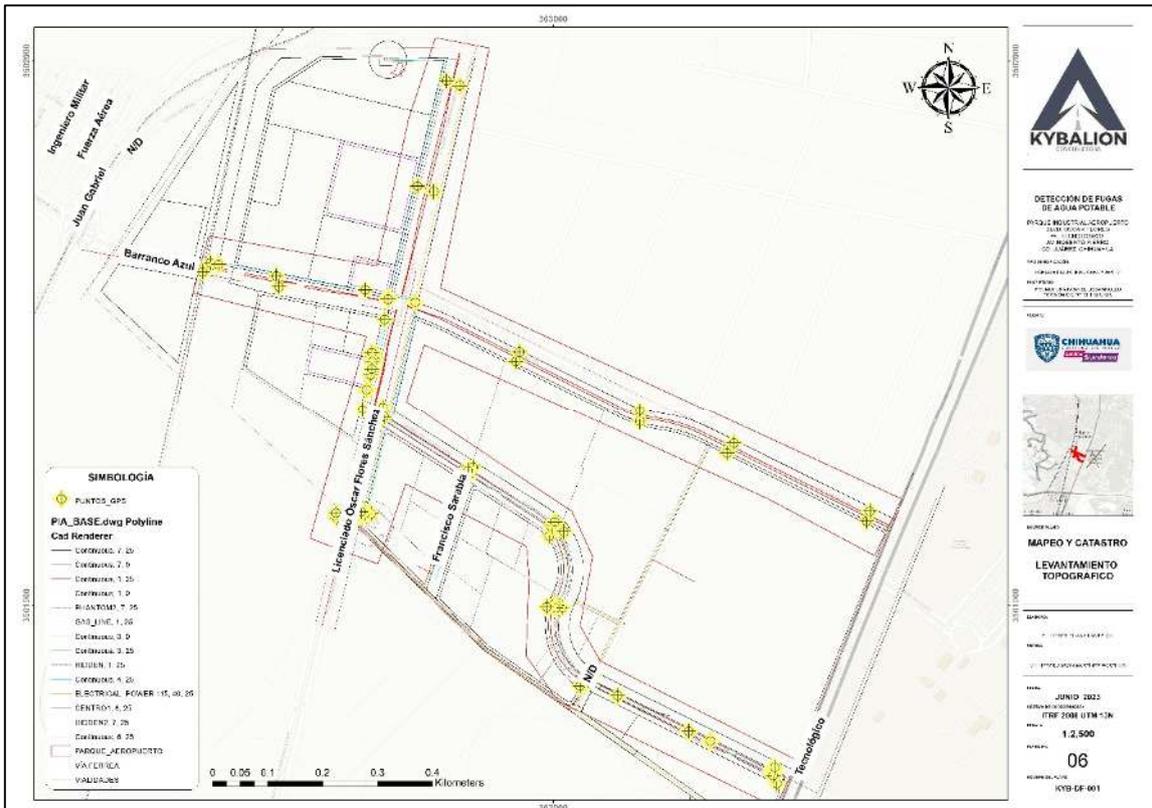


Figura 22. Levantamiento topográfico.

KYBALION CONSTRUCTORA S.A. DE C.V.
DMORALES@CONSTRUCTORAKYBALION.COM
DURANGO, DGO.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

4.1.2 VUELO CON DRON PARA OBTENER ORTOFOTO

Las imágenes tomadas con DRON para la creación de un orto mosaico se encuentran referenciadas en con el levantamiento topográfico, por medio de puntos de control pintados sobre la superficie asfáltica y distribuidos en la zona de estudio. En la Figura 23 se muestra un ejemplo de punto de control levantado con GPS RTK para su posicionamiento y referenciación con los demás elementos.



Figura 23. Punto de control levantado con GPS RTK para vuelo de dron.

En el vuelo de dron fue necesario crear una ruta de vuelo (ver ejemplo en Figura 24), en la cual el dispositivo se desplaza en la dirección propuesta y realiza tomas de fotografías aéreas georreferenciadas por el sistema GPS del DRON, posteriormente se realiza el postproceso de imágenes para crear una Ortofoto u Orto mosaico, la cual es la proyección plana de la unión de todas las fotografías. En la Figura 25 se muestra la ortofoto obtenida del área de estudio, donde solamente se realizaron vuelos sobre las calles y avenidas, esto para evitar la invasión espacial a los predios de los inquilinos del parque.



DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.

Fecha revisión

No. Revisión

Fecha elaboración
08 de junio 2023

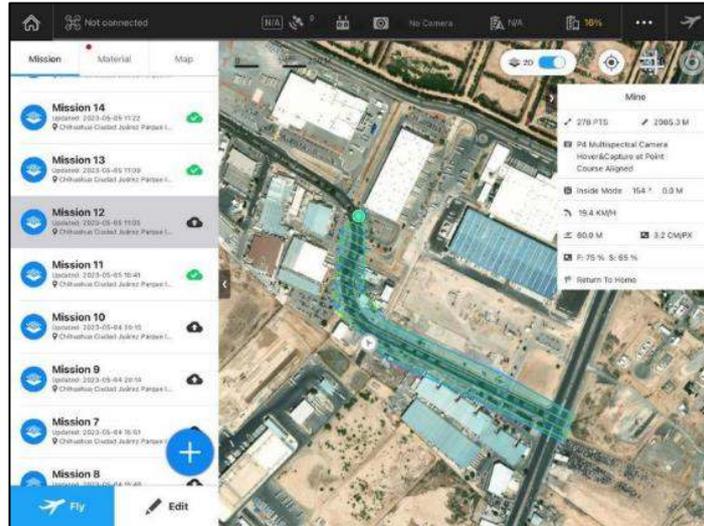


Figura 24. Ejemplo de ruta de vuelo sobre la Av. Roberto Fierro.



Figura 25. Orto mosaico obtenido con fotos aéreas y ubicación de puntos de control.

KYBALION CONSTRUCTORA S.A. DE C.V.
DMORALES@CONSTRUCTORAKYBALION.COM
 DURANGO, DGO.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

4.1.3 DETECCIÓN DE TUBERÍAS CON GEORADAR

Las mediciones de campo con el georradar se basan en colocar las antenas sobre la superficie; que puede ser carpetas asfálticas, concreto, terreno natural, etc., posteriormente se nivela, con el objetivo de que la totalidad del suelo esté en contacto con las antenas.

Una vez el equipo en el sitio de trabajo es necesario realizar una primera calibración de las antenas, la cual consiste en enviar algunos pulsos electromagnéticos al suelo para medir su transmisividad electromagnética y configurar el arreglo de las antenas para alcanzar la mayor profundidad y definición posible. Esto se repite conforme la superficie que tiene contacto con las antenas cambia. Se configura el equipo GPS interno del equipo para tener la georreferenciación de los puntos de inicio y término de los radargramas realizados.

Una vez calibrado y puesta en marcha el equipo sobre el sitio o zona que se desea explorar, se define una trayectoria por la cual se moverán las antenas. Para ello es necesario empujar el carro de transporte de las antenas en la trayectoria que se desea obtener la información (Figura 26).

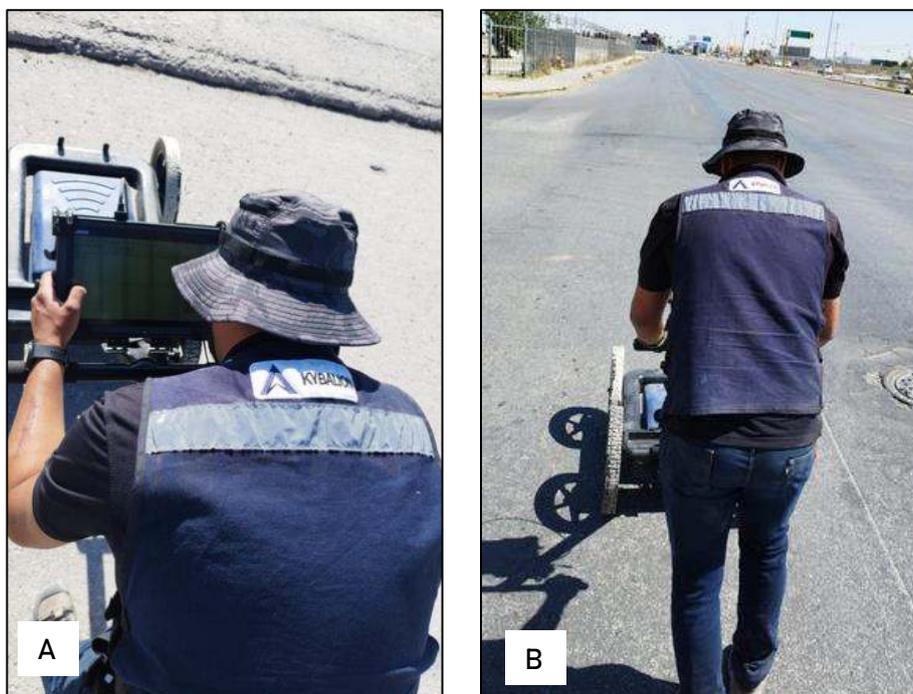


Figura 26. A) Calibración y programación de parámetros. B) Recorrido de georradar en la trayectoria de exploración.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

Antes de iniciar los trabajos de exploración se realizan un par de líneas prueba con el fin de verificar el correcto funcionamiento del odómetro interior del equipo, las antenas y GPS, las cuales monitorean la trayectoria del equipo al levantar las líneas.

Se configura en la consola de control o computadora del equipo, un proyecto nuevo con las características del proyecto y los parámetros de calibración. Durante el recorrido del georradar se traza un radargrama que representa de manera gráfica los elementos detectados en el subsuelo. En la consola de control se observan, en tiempo real, las lecturas del suelo de 3 antenas de diferentes frecuencias representando los impulsos electromagnéticos enviados al suelo, con el que se definen objetos sólidos enterrados o en zonas donde la conductividad electromagnética del suelo cambia, a cada uno de estos rebotes se les llama hallazgos y se marcan en la pantalla y en sitio a fin de buscar coincidencias entre hallazgos que puedan indicar trayectorias de tuberías (Figura 27).

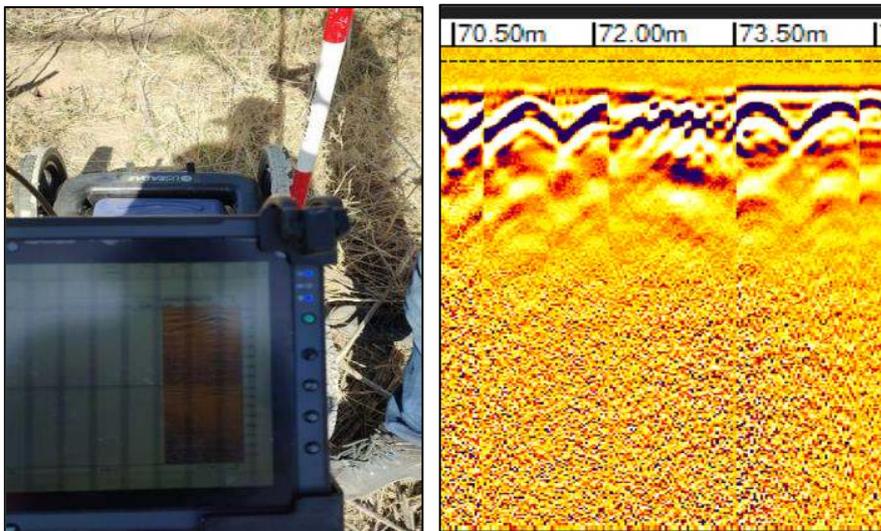


Figura 27. Ejemplo de radargrama.

Este método se repite en todas las áreas de interés para detectar líneas subterráneas, para el presente proyecto se revisó por ambos lados de la línea principal de conducción sobre la Av. General Roberto Fierro, Calle Francisco Sarabia, Calle Barranco Azul y Blvd. Óscar Flores. La intención de estos recorridos es detectar las líneas existentes y no descritas en los planos de la red de agua potable, así como detectar y/o confirmar la presencia de humedad acumulada en distintas zonas del sistema de distribución.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

A continuación, se muestra un radargrama (RAD01), ubicado sobre la Av. General Roberto Fierro Villalobos, en el tramo de la planta Smurfit Kappa. En este radargrama podemos observar 3 hallazgos:

1. Corresponde a un elemento metálico enterrado a una profundidad estimada de 20 cm medidos desde el nivel de asfalto.
2. Corresponde a un armado metálico de losa de concreto a una profundidad estimada de 30 cm medidos desde el nivel de asfalto.
3. Corresponde a una línea de conducción detectada a una profundidad de 0.90 metros, la cual coincide con la línea de alimentación del registro 13 de la planta Smurfit Kappa.

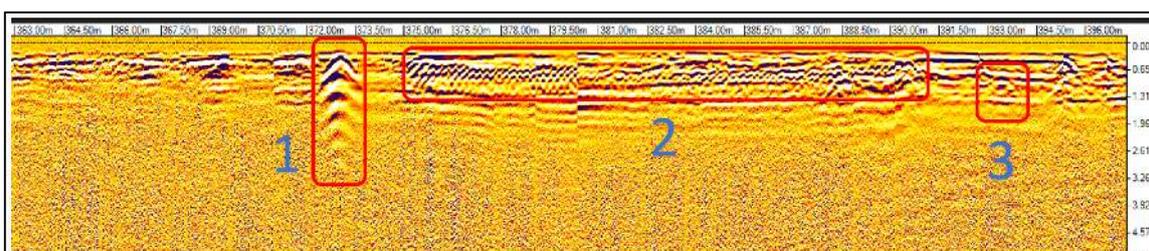


Figura 28. Radargrama obtenido en campo.

Esta técnica se complementó con el levantamiento topográfico, para definir la trayectoria de posibles tuberías que no se encuentran mapeadas (Figura 29).



Figura 29. Fotografía de medición con GPS RTK en trayectoria de exploración de georradar.



DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.

Fecha revisión

No. Revisión

Fecha elaboración
08 de junio 2023

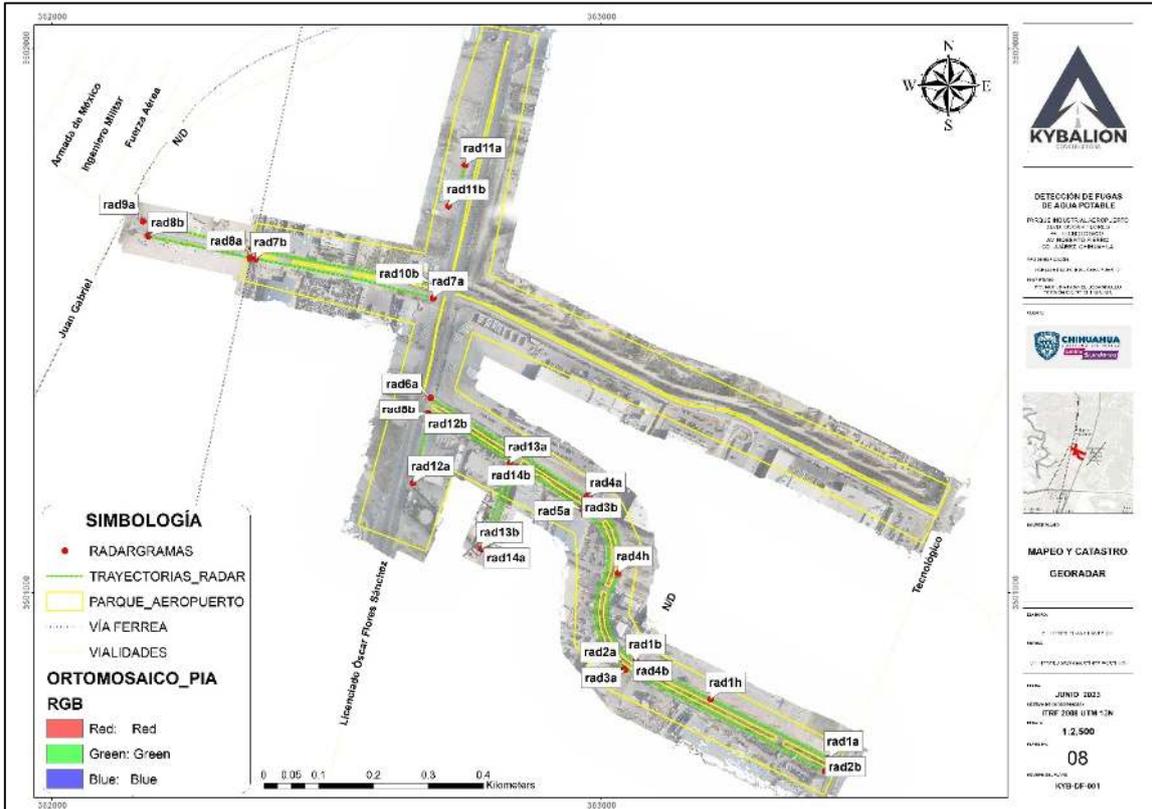


Figura 30. Ubicación de los Radargramas.

4.1.4 CATASTRO DE LA RED HIDRÁULICA

El objetivo general del mapeo y catastro de una red hidráulica es actualizar la información real de la red, plasmar en un plano los elementos importantes y tener la ubicación de esta. Por lo que al emplear las técnicas antes descritas se logra un catastro correcto de la red y con ella poder realizar interpretaciones de las posibles fugas existentes.

En este apartado se condensa la información referente al mapeo y catastro, en el cual se plasma en un plano la red hidráulica, la ubicación de registros y cajas de válvulas, trayectorias existentes y posibles de tuberías, así como la proyección del orto mosaico obtenido por medio de imágenes aéreas. Además, se incluye información de los registros de la línea principal y algunos de los accesorios más importantes.

En la Figura 31 se muestra un plano elaborado en Sistemas de Información Geográfica con los elementos de la red hidráulica, así como los registros de medidores, hidrantes, válvulas, conexiones, etc. Se integro la imagen obtenida con el vuelo de Dron.



**DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL
PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN
CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.**

Fecha revisión

No. Revisión

Fecha elaboración
08 de junio 2023



Figura 31. Catastro de la red hidráulica del parque PIA.

En la Tabla 1 se muestra la información de los registros mapeados y contenidos en el plano de la Figura 31. Se muestran las coordenadas UTM, la descripción del elemento y la ubicación.

Tabla 1. Información de los registros mapeados.

ID	ELEMENTO	X	Y	Notas	Ubicación
Pozo 1	POZO	362667.609	3501153.18	Alimenta tanque y conectado a la red.	BLVD. Óscar Flores
Pozo 2	POZO	362687.98	3502001.22	Alimenta red hidráulica del parque	BLVD. Óscar Flores
REG_01	VÁLVULA	362658.038	3501169.36	Válvula salida del tanque del pozo 1.	Pozo 1
REG_02	TEE	362649.836	3501171.36	Conexión hacia la red.	Pozo 1
REG_03	TEE	362662.899	3501227.92	Conexión a hidrante.	BLVD. Óscar Flores
REG_04	TEE	362691.049	3501345.97	Se reduce a 8" hacia Reg_20 y Reg_05.	Cruce BLVD. Óscar Flores y Av. Roberto Fierro
REG_05	CRUZ	362844.606	3501247.74	En línea principal de 8" hacia Reg_06 y 4" hacia calle Francisco Sarabia.	Av. Roberto Fierro
REG_06	TEE	362996.657	3501144.36	Línea principal de 8" hacia Reg_08, con seccionamiento de 4" hacia Reg_07.	Av. Roberto Fierro
REG_07	TEE	363003.056	3501153	Conecta a Hidrante con 4", la reducción de 2" se desconoce a donde conecta.	Av. Roberto Fierro



**DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL
PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN
CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.**

Fecha revisión

No. Revisión

Fecha elaboración

08 de junio 2023

REG_08	TEE	363005.822	3501000.52	Conecta a Hidrante con 4", continua 6" hacia Reg_10.	Av. Roberto Fierro
REG_09	MEDIDOR	362989.432	3500997.19	Medidor de BD	Av. Roberto Fierro
REG_10	TEE	363004.016	3500995.05	Línea principal de 8" hacia Reg_11, con seccionamiento de 2" hacia Reg_09.	Av. Roberto Fierro
REG_11	TEE	363063.067	3500862.33	Línea principal de 6" hacia Reg_12, con seccionamiento de 4" hacia Reg_13.	Av. Roberto Fierro
REG_12	VÁLVULA	363064.261	3500861.99	La válvula vibra al igual que la tubería (la vibración produce un sonido fuerte). La válvula se cambió y presento fuga en instalación. Línea de 8" hacia Reg_14	Av. Roberto Fierro
REG_13	VÁLVULA	363069.102	3500873.48	Medidor Smurfit Kappa	Av. Roberto Fierro
REG_14	TEE	363116.826	3500834.54	En línea principal de 6" hacia Reg_15 y 4" hacia hidrante.	Av. Roberto Fierro
REG_15	TEE	363245.903	3500770.2	En línea principal de 6" hacia Reg_16 y 4" hacia hidrante.	Av. Roberto Fierro
REG_16	TEE	363396.255	3500695.39	En línea principal de 6" hacia Reg_19 y 4" hacia hidrante.	Av. Roberto Fierro
REG_17	HIDRANTE	363401.174	3500704.92		Av. Roberto Fierro
REG_18	MEDIDOR	363384.531	3500683.85	Medidor 1 de Maquinados, con tubería de 2" con reducción a 3/4"	Av. Roberto Fierro
REG_19	MEDIDOR	363399.676	3500693.44	Medidor en la parte final de la red	Av. Roberto Fierro y Av. Tecnológico
REG_20	TEE	362731.372	3501513.03	En línea principal de 8" hacia Reg_21 y 4" hacia hidrante.	Dentro del predio de BD por BLVD. Óscar Flores
REG_21	TEE	362699.797	3501565.63	Conecta hacia conducción Pozo 2, Reg_20 y Reg_22.	BLVD. Óscar Flores y Calle Barranco Azul
REG_22	TEE	362698.639	3501564.17	Conecta con Reg_21, Reg_23 y hacia Reg_24.	BLVD. Óscar Flores y Calle Barranco Azul
REG_23	TEE	362390.035	3501626.88	En línea principal de 4" hacia vías del tren. Conecta a hidrante con 4" y válvula.	Calle Barranco Azul
REG_24	TUBERÍA	362674.527	3501464.62	Conecta con tubería de 2"	BLVD. Óscar Flores
REG_25	TUBERÍA	362669.066	3501466.18	Conecta con REG_24	BLVD. Óscar Flores
REG_26	MEDIDOR	362670.862	3501449.28	Registro interior de gasera ZGAS	BLVD. Óscar Flores
REG_27	MEDIDOR	363078.587	3500838.42	Medidor lote abandonado	Av. Roberto Fierro
REG_28	HIDRANTE	363116.682	3500834.87	Hidrante	Av. Roberto Fierro
REG_29	MEDIDOR	363068.812	3500873.43	Medidor Smurfit Kappa (REG_13)	Av. Roberto Fierro
REG_30	MEDIDOR	363048.54	3500886.64	Medidor Praxair	Av. Roberto Fierro
REG_31	HIDRANTE	363012.503	3500978.08	Hidrante Praxair	Av. Roberto Fierro
REG_32	MEDIDOR	363023.806	3501008.75	Medidor 2 Praxair	Av. Roberto Fierro
REG_33	HIDRANTE	363008.738	3501146.79	Hidrante	Av. Roberto Fierro
REG_34	MEDIDOR	362996.379	3501168.08	Medidor BD	Av. Roberto Fierro
REG_35	REGISTRO RIEGO	362941.096	3501199.17	Registro de riego	Av. Roberto Fierro
REG_36	REGISTRO VACÍO	362907.568	3501220.92	Registro sin conexión	Av. Roberto Fierro
REG_37	REGISTRO RIEGO	362784.639	3501300.2	Registro de riego	Av. Roberto Fierro
REG_38	REGISTRO VACÍO	362752.526	3501320.96	Registro vacío	Av. Roberto Fierro
REG_39	REGISTRO RIEGO	362714.213	3501332.55	Registro de riego	Av. Roberto Fierro
REG_40	REGISTRO TOMA	362814.486	3501187.84	Registro Maseca	Av. Roberto Fierro
REG_41	REGISTRO TOMA	362807.831	3501190.35	Registro Maseca	Av. Roberto Fierro
REG_42	MEDIDOR	362808.868	3501192.61	Medidor Maseca	Av. Roberto Fierro
REG_43	HIDRANTE	362839.247	3501211.08	Hidrante	Av. Roberto Fierro

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

REG_44	MEDIDOR	362835.835	3501197.48	Medidor SEISA	Av. Roberto Fierro
REG_45	REGISTRO TOMA	362805.337	3501109.23	Registro SEISA	Av. Roberto Fierro
REG_46	REGISTRO TOMA	362805.8	3501108.4	Registro SEISA	Av. Roberto Fierro
REG_47	REGISTRO TOMA	362799.948	3501092.01	Registros SEISA	Av. Roberto Fierro
REG_48	REGISTRO TOMA	362777.463	3501077.97	Registro SEISA	Av. Roberto Fierro
REG_49	MEDIDOR	362777.015	3501103.52	Medidor Energéticos Nieto	Av. Roberto Fierro
REG_50	MEDIDOR	363384.497	3500683.81	Medidor 1 Maquinados	Av. Roberto Fierro
REG_51	MEDIDOR	363276.376	3500738.33	Medidor 2 Maquinados	Av. Roberto Fierro
REG_52	HIDRANTE	363241.072	3500756.49	Hidrante Maquinados	Av. Roberto Fierro
REG_53	MEDIDOR	363234.02	3500759.57	Medidor 3 Maquinados	Av. Roberto Fierro
REG_54	MEDIDOR	363188.154	3500781.58	Medidor 4 Maquinados	Av. Roberto Fierro
REG_55	MEDIDOR	362924.244	3501177.61	Medidor 4 SEISA	Av. Roberto Fierro
REG_56	MEDIDOR	362995.765	3500913.45	Medidor Bodegas	Av. Roberto Fierro
REG_57	MEDIDOR	363027	3500868.78	Medidor Fabricentro	Av. Roberto Fierro
REG_58	MEDIDOR	362493.415	3501613.95	Medidor Cenaltec	Av. Roberto Fierro
REG_59	MEDIDOR	362444.241	3501620.29	Medidor Almex	Calle Barranco Azul
REG_60	MEDIDOR	362281.805	3501669.64	Medidor Bomberos	Calle Barranco Azul
REG_61	VÁLVULA	362284.444	3501675.08	Válvula Bomberos	Calle Barranco Azul
REG_62	HIDRANTE	362285.247	3501676.62	Hidrante Bomberos	Calle Barranco Azul
REG_63	MEDIDOR	362568.832	3501562.08	Medidor FEM	Calle Barranco Azul
REG_64	MEDIDOR	362520.534	3501566.36	Medidor Corralón	Calle Barranco Azul
REG_65	HIDRANTE	362757.972	3501780.7	Hidrante	BLVD. Óscar Flores
REG_66	HIDRANTE	362675.291	3501450.82	Hidrante	BLVD. Óscar Flores

En el ANEXO A_ MAPEO Y CATASTRO se encuentra la información con fotografía de cada registro mapeado existente de la red hidráulica del parque.

4.2 DETECCIÓN DE FUGAS

En este apartado se muestra a grandes rasgos el proceso de cada técnica y los hallazgos encontrados en cada una de ellas. Los productos obtenidos y archivos digitales se encuentran en la base de datos digital del ANEXO 04_ DETECCIÓN DE FUGAS, dentro de él se encontrará la información de cada técnica, así como la información generada del análisis individual e integral.

4.2.1 ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES

Con la zona de estudio delimitada se realizó la adquisición de las imágenes satelitales. Esto se realizó por medio de la plataforma de Science For A Changing World (USGS), donde se adquirieron imágenes tomadas por el satélite de observación terrestre LandSat8 el cual tiene 11 bandas espectrales. Las imágenes satelitales se encuentran en escala de grises por lo que es necesario realizar el análisis por medio de herramientas SIG y para análisis de imágenes satelitales, para este caso se utilizaron los programas ArcMap, GlobalMapper y gvSIG, así como la herramienta en plataforma digital de la USGS.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

En total se adquirieron 11 imágenes para diferentes bandas. En la Figura 32 se muestra un ejemplo de una imagen satelital del satélite LandSat 8 en escala de grises para representar la banda 1, que representa una longitud de onda de 0.435 - 0.451 con una resolución de 30m.

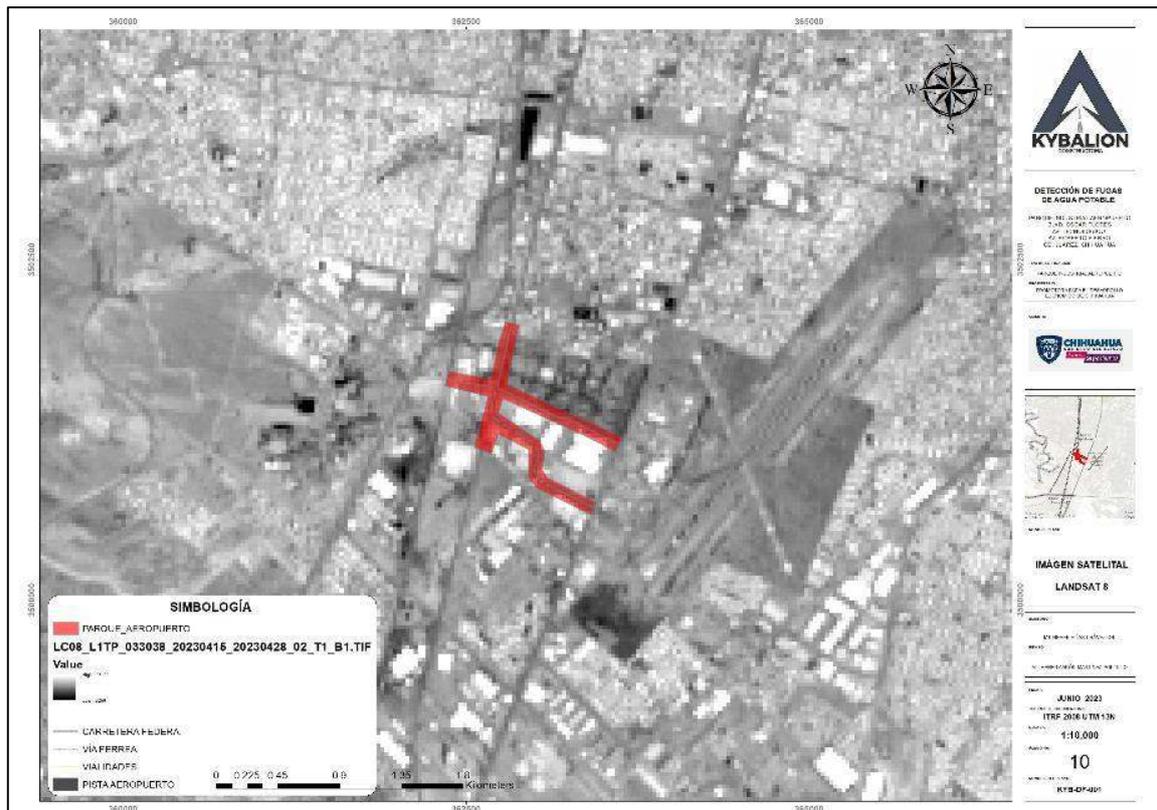


Figura 32. Imagen satelital de una banda de Landsat 8.

En la interpretación y análisis de imágenes satelitales, se identifica la proporción del flujo incidente que es reflejado, absorbido y transmitido depende de las características de la superficie que se observa y de la longitud de onda a la que sea observado. Entonces para poder caracterizar la respuesta de un determinado objeto tendremos que estudiar su respuesta a diversas longitudes de ondas o bandas.

Esta técnica es la primera en efectuar, ya que por la facilidad de empleo es común poder identificar las fuentes de humedad por presencia de cuerpos de agua, escurrimientos, ríos y arroyos, incluso descargas de aguas residuales. Esto con la finalidad de descartar aportaciones externas o diferentes a las que pueden darse por causa de una fuga de agua

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

potable. Además, nos da un indicio de las zonas a las cuales se les debe precisar con mayor detalle en las siguientes técnicas.

Las imágenes satelitales tienen datos de varias longitudes de onda de espectro o bandas para cada píxel. Para poder visualizar cada banda es necesario asignar colores a cada banda de información. Se emplean los colores primarios: Rojo, Verde y Azul (RGB), dentro de cada banda se establece un orden de colores. Con el análisis efectuado se identificaron zonas con humedad, de las cuales se pueden dividir en humedades subsuperficiales y superficiales, además distinguir entre ellas las posibles fuentes según el análisis de bandas de las imágenes satelitales.

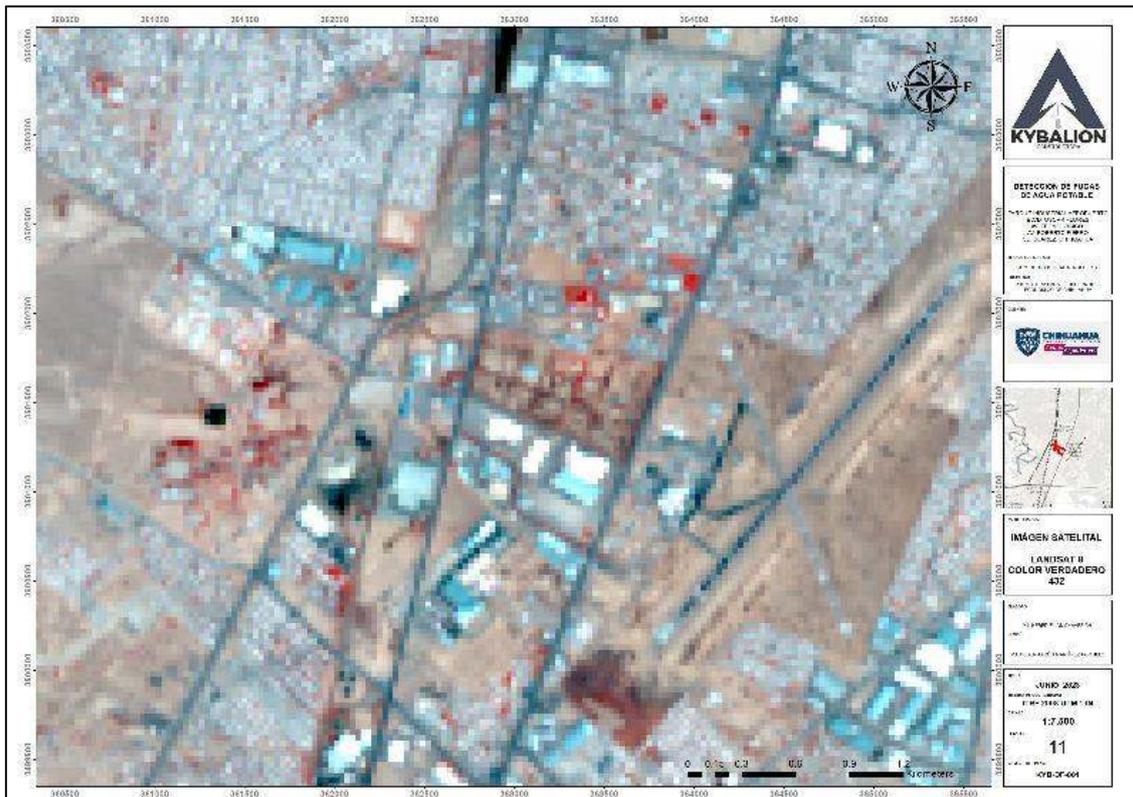


Figura 33. Análisis para color verdadero (432).

El primer análisis consta de determinar el color natural o verdadero con la combinación de bandas 4,3,2, con la finalidad de detectar superficies como asfaltos, concretos y techumbres. En la Figura 33 se muestra el análisis de imágenes que determina el color verdadero, este representa en las tonalidades de color azul las superficies asfálticas y concretos, en color blanco las techumbres. En el rango de colores rojos se puede interpretar como zonas de vegetación; los colores en tonalidad café representan el suelo

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

o la cubierta de terreno natural; por ultimo los tonos en colores gris y pastel son las zonas habitacionales.

En la Figura 34 se presenta el análisis para determinar la vegetación existente. Donde la interpretación de la vegetación se observa en lo tonos de color verde, mientras que los tonos morados son superficies que reflejan la radiación, asociados a superficies asfálticas y de concreto. En el caso de la vegetación 1, 7, 8 y 9; son zonas fuera del área de estudio. Sin embargo, los polígonos 2,3,4,5 y 6 si están dentro del parque industrial, por lo que es necesario asociar la fuente de humedad que alimenta la vegetación; por lo es importante identificar las áreas verdes con riego y las áreas con vegetación que no tiene sistema de riego constante.

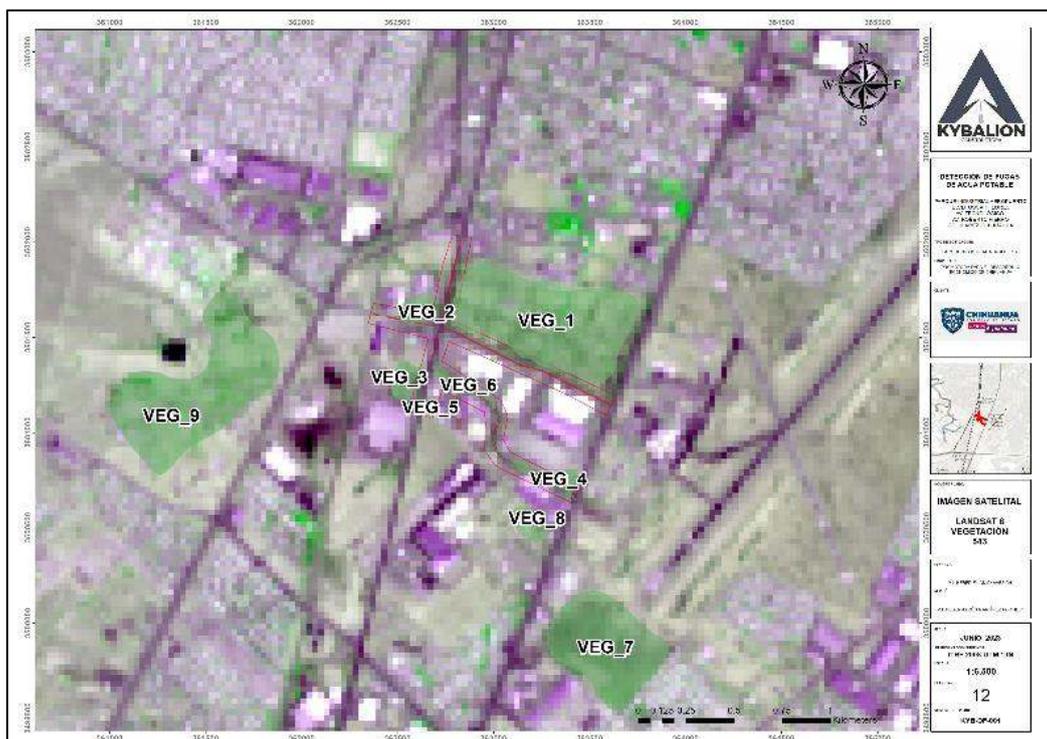


Figura 34. Análisis de vegetación 543.

El análisis de falso color para zonas urbanas, empleando las bandas 764, se puede interpretar una humedad superficial de cuerpos de agua. En la imagen se muestra tonos oscuros y azules que representan zonas de humedad. Por ejemplo, en el caso de la humedad 1, 2 y 3 se encuentran dentro del predio, las humedades 4, 5 y 6 se generan por

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

áreas verdes abundantes. En la Hum_7, dentro del aeropuerto se ve una zona de inundación, por último, las humedades 9, 10 y 11 se asocian a vaso de captación pluvial.

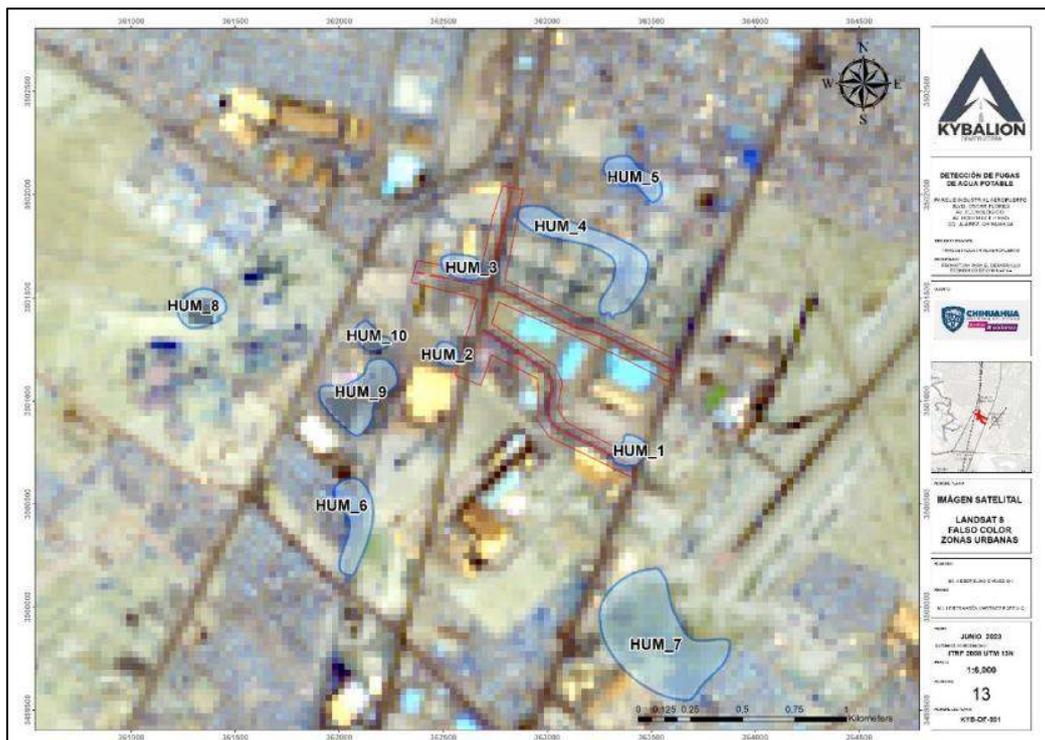


Figura 35. Falso color para zonas urbanas.

Realizando un análisis algebraico de bandas es posible determinar el índice de vegetación diferencial normalizada (NVDI), ver la Figura 36; el cual nos indica las zonas con vegetación en un contraste de tonos rojos y verdes. Donde las zonas con tonos amarillo - verde se asocian a zonas con vegetación y las zonas con tonos naranja - rojo a superficies con mayor gradiente de temperatura.

En la Figura 37 se muestra el índice diferencial de agua normalizado (NWDI), el cual nos da indicios de presencia de agua y humedad en el subsuelo en tonos azules, mientras que los tonos verdes pueden asociarse a humedad por presencia de vegetación. Precisando en las zonas dentro del área de estudio en el parque industrial, tenemos que la zona de humedad 1 se debe a un vaso de captación pluvial. La zona de humedad 11 se asocia a humedad y presencia de agua por efecto de la inundación de agua pluvial. En el caso de las zonas 2, 3, 5, 7 y 10 se interpreta que la humedad y presencia de agua puede ser por efecto de riego. La zona 12 se descarta, ya que se genera un espectro por el reflejo del tipo de cubierta de la nave industrial. Por último, la zona 4, 6, 8, 9, 13, 14 y 15 se asocian con humedad en el subsuelo.



DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.

Fecha revisión

No. Revisión

Fecha elaboración
08 de junio 2023



Figura 36. índice de vegetación diferencial normalizada (NDVI).

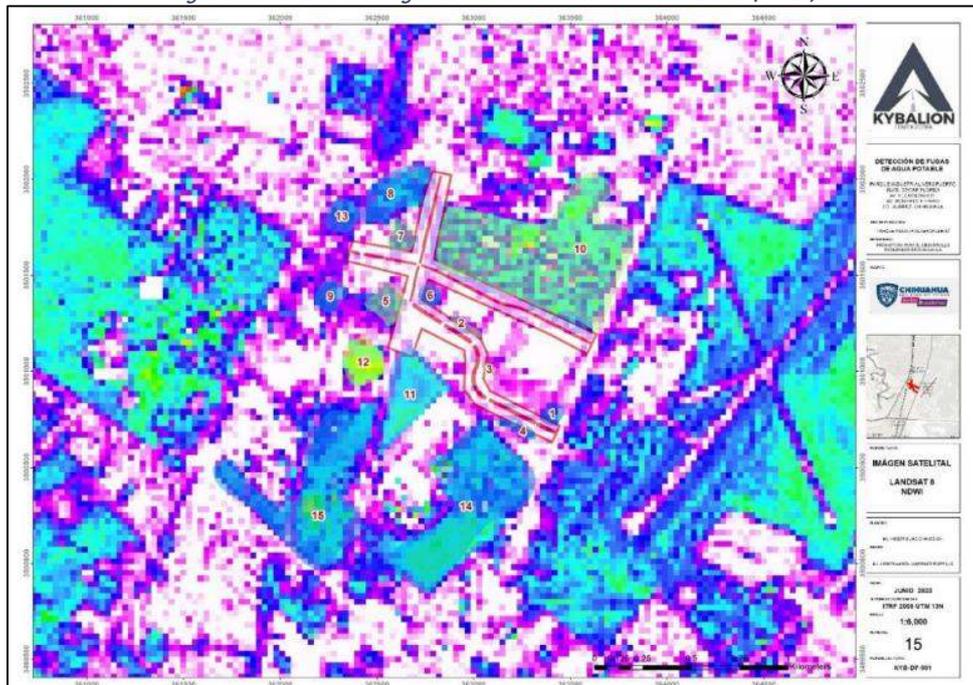


Figura 37. índice diferencial de agua normalizado (NDWI).



DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.

Fecha revisión

No. Revisión

Fecha elaboración
08 de junio 2023

Combinando la información generada del análisis de las diferentes combinaciones de bandas de las imágenes satelitales y al utilizar el fondo de la ortofoto, podemos asociar los polígonos y las diferentes interpretaciones según el tipo de superficie. En la Figura 38 se observa como algunas zonas detectadas como zonas de vegetación están asociadas a una humedad o zona de acumulación de agua pluvial (vaso y zonas inundación). Además, es común asociar una humedad o presencia de agua en el subsuelo en zonas donde existe vegetación y no se tienen sistemas de riego. Eliminando las zonas con vegetación y áreas verdes, se proponen unas zonas con potencial de presencia de fuga, dejando aún lado la posible aportación de humedad por causas de descargas superficiales y/o lluvia.



Figura 38. Integración del análisis de imágenes satelitales por diferentes combinaciones de bandas.

Se determinan los polígonos determinados para las posibles fugas por efecto de la humedad presente en la superficie o subsuelo, descartando la aportación de sistemas de riego y acumulación de agua pluvial. Ver Figura 39.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

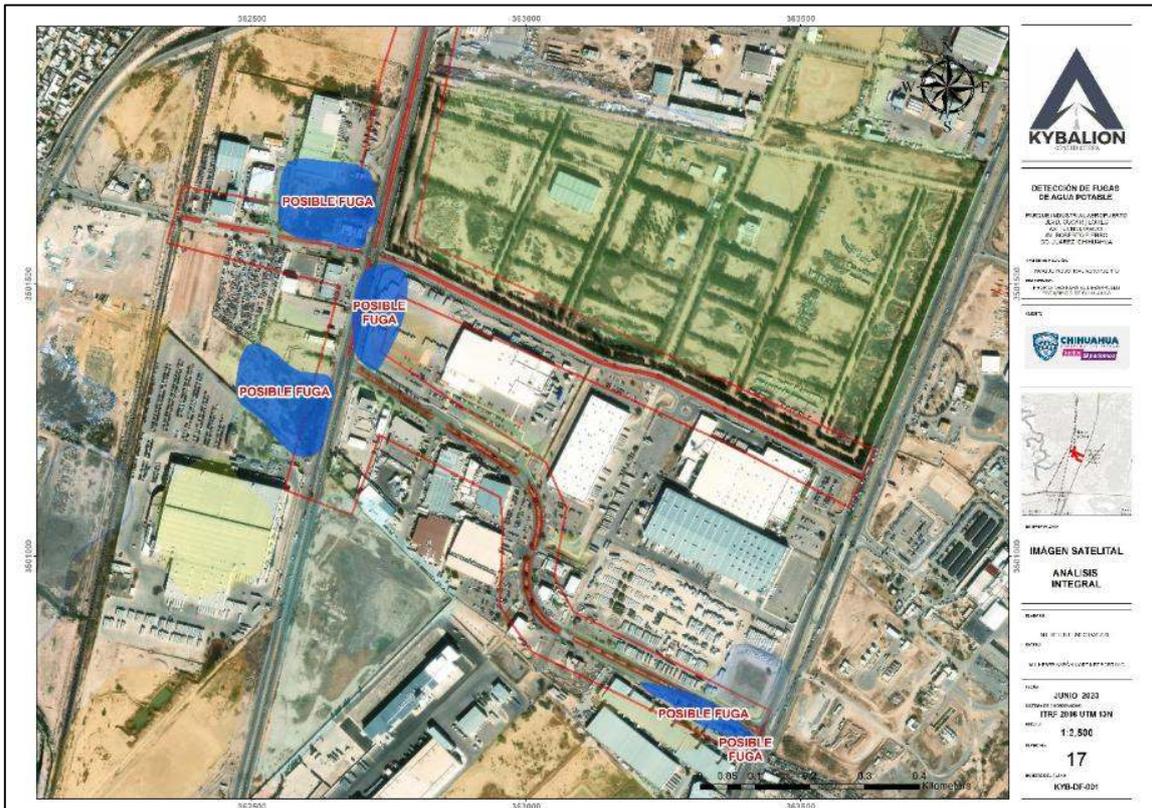


Figura 39. Posibles zonas con fugas potenciales determinadas por el análisis satelital.

4.2.2 TELEDETECCIÓN MULTIESPECTRAL

En esta técnica se juntan dos de las técnicas descritas, el vuelo con dron para obtener imágenes aéreas y el análisis de bandas para la interpretación del espectro electromagnético.

Utilizando los puntos de control empleados en el vuelo con dron para obtener las imágenes aéreas, se realizó el vuelo para obtener las imágenes multiespectrales, las cuales se conforman de 6 bandas (cámara RGB y un conjunto multiespectral de 5 cámaras que cubre las bandas azul, verde, rojo, borde rojo e infrarrojo cercano).

Se realizó el proceso de convertirlo en orto mosaico para su interpretación y análisis de las combinaciones de bandas. En la Figura 40 se muestra el orto mosaico multiespectral que se obtuvo con el vuelo de Dron multiespectral.



**DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL
PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN
CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.**

Fecha revisión

No. Revisión

Fecha elaboración
08 de junio 2023



Figura 40. Imagen multiespectral del área de estudio.

Analizando el espectro, considerando las combinaciones de banda se obtuvo un arreglo con el cual se pueden identificar zonas de alta humedad, con descarte de aquellas zonas que por la ubicación de la red hidráulica no tienen relación, así como aquellas zonas de con vegetación y posible riego constante. En la Figura 41 se muestran los puntos identificados en la ortofoto multiespectral, en la cual se señalan puntos posibles de fuga y zonas con humedad constante. En las zonas con humedad como no se puede confirmar la fuente, se precisa que puede ser por efecto de la vegetación existente.

En la Figura 41 se muestran en tonos de color café y rojizo las zonas con superficies sin presencia de humedad superficial, mientras que los tonos azules y morados pueden asociarse a presencia de humedad superficial o en su defecto techumbres y superficies muy brillantes como vehículos y vegetación con presencia de humedad.



**DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL
PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN
CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.**

Fecha revisión

No. Revisión

Fecha elaboración

08 de junio 2023



Figura 41. Análisis multispectral para detección de fugas potenciales.

4.2.3 INTERPRETACIÓN DE GRADIENTE TÉRMICO

Utilizando la imagen del infrarrojo cercano y la combinación de bandas obtenidas del orto mosaico multispectral, se realizó el análisis del gradiente termográfico para determinar las zonas con menor temperatura y poder establecer criterios de selección y confirmación de zonas con potencial de fugas que complementa el análisis de las imágenes multispectrales obtenidas con Dron. Básicamente el gradiente térmico identifica zonas frías en color azul y zonas calientes en color rojo. En la Figura 42 se muestra el gradiente termográfico el cual se aprecia con la atenuación y cambio de tonos entre los puntos fríos de color azul y calientes en tonos amarillos.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023



Figura 42. Imagen termográfica para análisis de fugas.

4.3 DIRECCIÓN DE FLUJO

La técnica de trayectorias equipotenciales nos permite definir la dirección de flujo de agua en el subsuelo que provoca humedades en la superficie y subsuelo. Esto con la finalidad de establecer un punto o fuente de humedad la cual asociaremos a la presencia de fugas en redes hidráulicas. Para este caso se desprecia la humedad por efecto de la presencia de vegetación y sistemas de riego.

En la Figura 43 se muestran las trayectorias equipotenciales resultantes del análisis de la información medida y determinada en los trabajos de campo y análisis de las técnicas anteriores. Correlacionando la información obtenida de la zona de estudio se determinaron las trayectorias equipotenciales, donde la dirección de flujo determinada es del tono fuerte al tono claro. En la aplicación de esta técnica se tuvieron las limitaciones del subsuelo, el cual está compuesto por materiales granulares relacionados a altas conductividades hidráulica, es decir; que el tipo de suelo facilita el paso del agua a través de él.



DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.

Fecha revisión

No. Revisión

Fecha elaboración
08 de junio 2023



Figura 43. Trayectorias equipotenciales para determinar la dirección de flujo.

Algunas de las zonas identificadas como con potencial alto de transporte de agua coinciden con zonas de humedad determinadas con técnicas anteriores. Se identifican cuatro zonas con una alta concentración de humedad las cuales coinciden con presencia de vegetación espesa, por lo que se consideran como una zona con humedad de una fuente desconocida, una de ellas corresponde al área donde se encuentra el pozo y tanques de almacenamiento por lo que puede asociarse a perdidas de agua de estos elementos, mientras existen tres zonas con presencia de vegetación espesa en lotes donde no se encuentra desarrollo ni un sistema de riego propio. Así mismo se identifican cinco zonas con transporte de agua sobre la trayectoria de la red de agua potable del parque, mismas que pueden asociarse a fugas potenciales en la red y que en el caso de cuatro de ellas coinciden con zonas indicadas por las otras metodologías.



DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.

Fecha revisión

No. Revisión

Fecha elaboración

08 de junio 2023

4.4 DETECCIÓN ACÚSTICA DE FUGAS

Se realizó la verificación de las zonas y puntos potenciales de fuga, con la finalidad de proponer zonas para la exploración física con equipo sónico.

Si bien los métodos descritos anteriormente identifican fugas por medio de humedad; existen métodos indirectos para determinar la ubicación o cercanía de una fuga en sistema de tuberías. La técnica consiste en colocar un del geófono directamente en un conducto, accesorio o tubería de la línea donde se quiere identificar la fuga. El geófono se fue colocando sobre la red hidráulica (sobre tubería, válvula, medidor, conexión, hidrante, etc.).

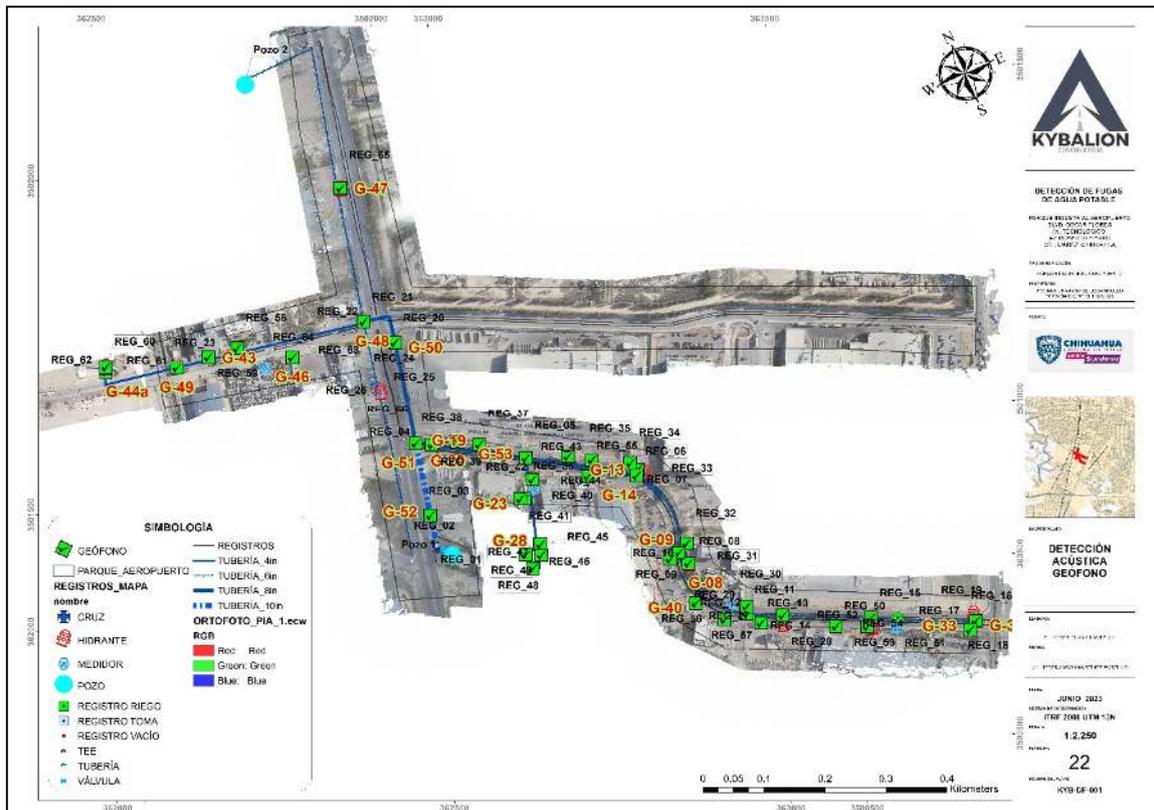


Figura 44. Ubicación de mediciones de campo con geófono.

En la Figura 44 se muestra la ubicación de las mediciones realizadas donde se denominan el índice “G_00”, los cuales se relacionan a una ubicación en específico de un registro (REG). En la Tabla 2 se muestran las coordenadas y los valores medidos en campo. El equipo registra y reproduce un sonido al tener contacto el sensor con la tubería, dependiendo de los decibeles (donde 99 es el valor más alto y 0 el más bajo), se determina si existe posibilidad de fuga o no, pero también depende del tipo de sonido escuchado con el equipo

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

para interpretar si una medición alta en decibeles está relacionada a una fuga o a un consumo o flujo alto, o alguna falla mecánica de algún accesorio cercano.

Tabla 2. Coordenadas de los puntos medidos con geófono.

ID	X	Y	Descripción	Decibeles
G-01	363078.587	3500838.42	Medidor lote abandonado	37
G-02	363116.826	3500834.54	REG_14	99
G-03	363116.682	3500834.87	Hidrante	99
G-04	363062.903	3500862.6	REG_11	80
G-05	363064.444	3500861.83	REG_12	80
G-06	363068.812	3500873.43	Medidor Smurfit Kappa (REG_13)	99
G-07	396054.735	3471815.02	Medidor Praxair	56
G-08	363012.503	3500978.08	Hidrante Praxair	30
G-09	363023.806	3501008.75	Medidor 2 Praxair	26
G-10	363005.611	3501000.39	REG_08	30
G-11	363002.919	3501153.31	REG_07	99
G-12	363002.919	3501153.31	REG_07	70
G-13	363002.919	3501153.31	REG_07	36
G-14	362996.398	3501144.47	REG_06	99
G-15	351971.013	3394895.13	Hidrante	32
G-16	362996.379	3501168.08	Medidor BD	25-27
G-17	362941.096	3501199.17	Registro de riego	35
G-18	362907.568	3501220.92	Registro sin conexión	36
G-19	362784.639	3501300.2	Registro de riego	35
G-20	362752.526	3501320.96	Registro vacío	39
G-21	362714.213	3501332.55	Registro de riego	0
G-22	362814.486	3501187.84	Registro Maseca	62
G-23	362807.831	3501190.35	Registro Maseca	65-40
G-24	402998.442	3483322.33	Medidor Maseca	45
G-25	362839.247	3501211.08	Hidrante	49
G-26	344022.455	3461440.34	Medidor SEISA	99
G-27	362805.337	3501109.23	Registro SEISA	40
G-28	362805.8	3501108.4	Registro SEISA	77
G-29	362799.948	3501092.01	Registros SEISA	38
G-30	362777.463	3501077.97	Registro SEISA	26
G-31	362777.015	3501103.52	Medidor Energéticos Nieto	27
G-32	363399.782	3500693.08	REG_19	30
G-33	363384.497	3500683.81	Medidor 1 Maquinados	99
G-34	399734.117	3476133.35	Medidor 2 Maquinados	59
G-35A	363245.903	3500770.2	Hidrante Maquinados (REG_52)	99
G-35B	363245.903	3500770.2	REG_15	99
G-36	363234.02	3500759.57	Medidor 3 Maquinados	35
G-37	363188.154	3500781.58	Medidor 4 Maquinados	99
G-38	362924.244	3501177.61	Medidor 4 SEISA	81
G-39	362988.632	3500996.99	Medidor BD (REG_09)	33
G-40	362995.765	3500913.45	Medidor Bodegas	35
G-41	363027	3500868.78	Medidor Fabricentro	99
G-42	362493.415	3501613.95	Medidor Cenaltex	35
G-43	362444.241	3501620.29	Medidor Almex	43
G-44a	362281.805	3501669.64	Medidor Bomberos	47
G-44b	362284.444	3501675.08	Válvula Bomberos	35
G-45	362285.247	3501676.62	Hidrante Bomberos	35

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

G-46	362568.832	3501562.08	Medidor FEM	99
G-47	362757.972	3501780.7	Hidrante	65
G-48	362699.797	3501565.63	REG_21	0
G-49	362390.035	3501626.88	REG_23	0
G-50	362731.372	3501513.03	REG_20	16
G-51	362691.049	3501345.97	REG_04	99
G-52	362662.899	3501227.92	Hidrante (REG_03)	20
G-53	362844.606	3501247.74	Medidor Corralón	0

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

5 DETECCIÓN DE FUGAS

En la aplicación de las técnicas de detección de fugas no siempre suele ubicarse el punto exacto donde se localiza la fuga, suelen aflorar en superficie en un punto diferente a la fuente. Por lo que es necesario realizar una correlación e integración de técnicas y metodologías para ubicar fugas con mayor precisión, reduciendo los tramos o áreas de exploración física para la reparación.

Como primer paso es importante establecer el plano de catastro de la red hidráulica del parque industrial, incorporando e integrando la información previamente determinada en campo, esto con la finalidad de conocer su ubicación y poder aplicar las técnicas de detección de fugas de una manera directa y puntual. Los productos obtenidos y archivos digitales se encuentran en la base de datos digital del ANEXO 04_DETECCIÓN DE FUGAS, dentro de él se encontrará la información de cada técnica, así como la información generada del análisis individual e integral.

5.1 CORRELACIÓN DE TÉCNICAS

Realizando un análisis integral de todas las metodologías empleadas, recorridos de campo, análisis de la información obtenida por medio de sensores para la teledetección multispectral e imágenes satelitales y de los análisis complementarios como la dirección de flujo, se lograron estimar posibles zonas potenciales de fugas y zonas con humedad en superficie y subsuelo.

La intención de este capítulo es conjuntar todas las técnicas de detección de fugas para mostrar las zonas de humedad potenciales por efecto de fugas de agua en la red hidráulica de agua potable, con la intención de clasificar e identificar la fuente de humedad y poder asociarla a una fuga en algún punto de una tubería o accesorios; como: conexiones, válvulas, hidrantes, medidores, etc.

En esta etapa, se analizan las zonas con humedades persistentes; el análisis de forma detallada nos brinda las direcciones de flujo, logrando definir zonas de posibles fugas de red de distribución, mediante la ubicación y conformación de polígonos con una precisión de 10 – 30 metros. Así mismo, en la integración de técnicas y análisis de dirección de flujos se pueden descartar zonas de humedad por presencia de vegetación o zonas que no tienen relación con la ubicación de la red hidráulica. En la Figura 45 se muestra la integración de las técnicas, donde podemos apreciar que para diferentes interpretaciones existen coincidencias en las zonas húmedas detectadas.



DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.

Fecha revisión

No. Revisión

Fecha elaboración

08 de junio 2023

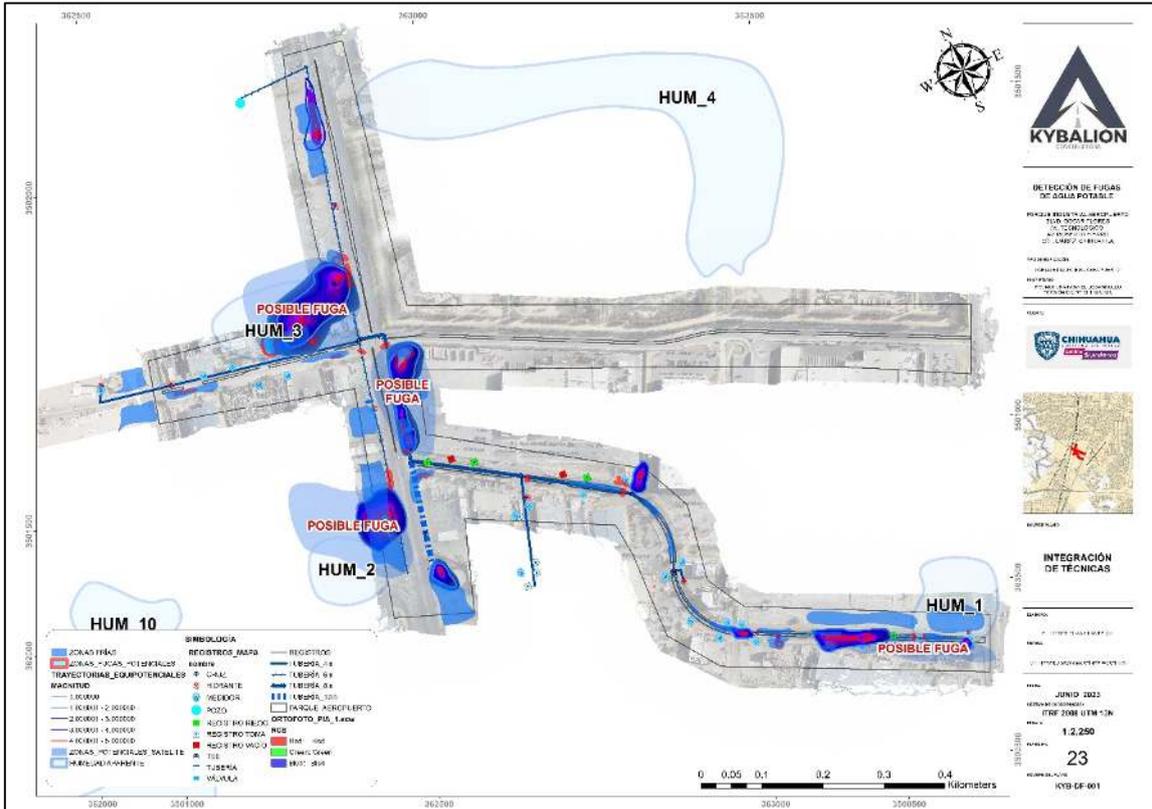


Figura 45. Integración de técnicas para detección de fugas.

La integración del análisis de las imágenes satelitales para identificar las masas de humedad persistente en el subsuelo, la interpretación de las imágenes multiespectrales y del análisis termográfico de las condiciones de la superficie nos pueden dar indicios de la humedad en el subsuelo, es decir, que la capa superficial está sujeta a un cambio en su comportamiento por efecto de la humedad constante que se genera por debajo.

Realizando una correlación de las técnicas y descartando zonas con humedad por presencia de vegetación y aquellas zonas que no tienen influencia en la ubicación de la red hidráulica, se identificaron 11 polígonos o zonas con humedad relacionada a posible presencia de fugas (ver Figura 46).



**DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL
PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN
CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.**

Fecha revisión

No. Revisión

Fecha elaboración

08 de junio 2023

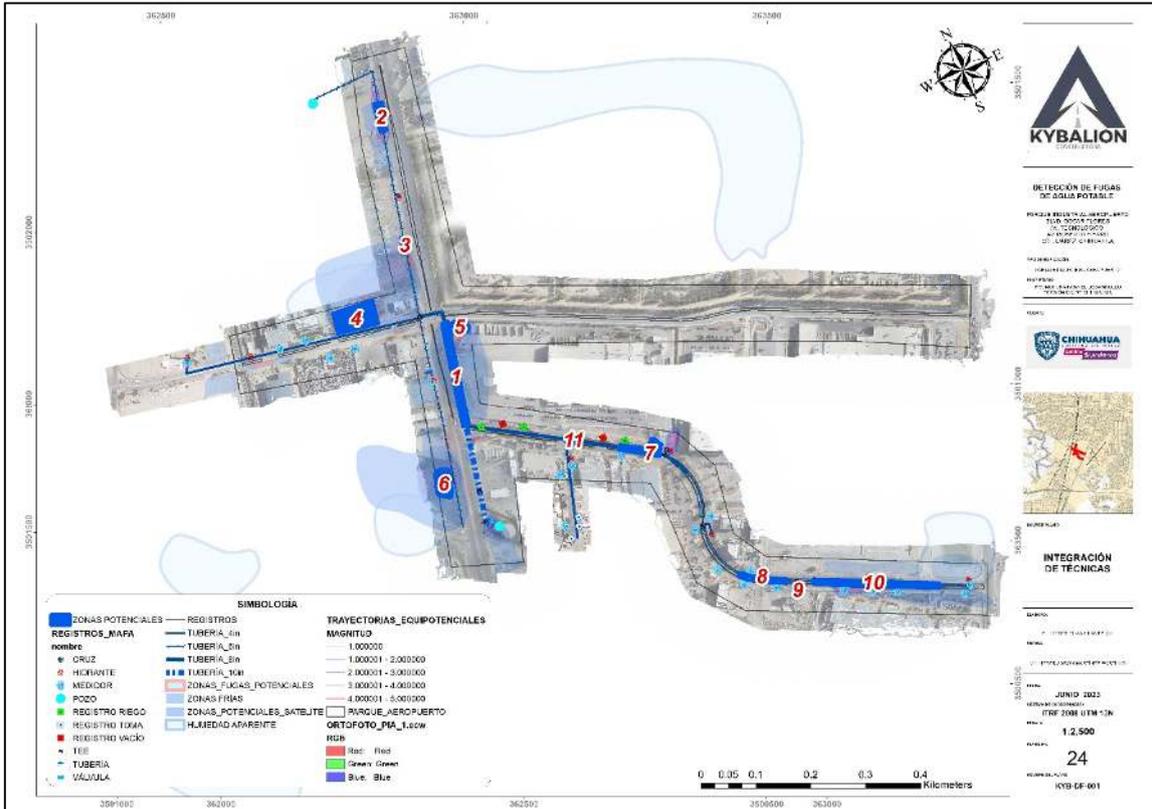
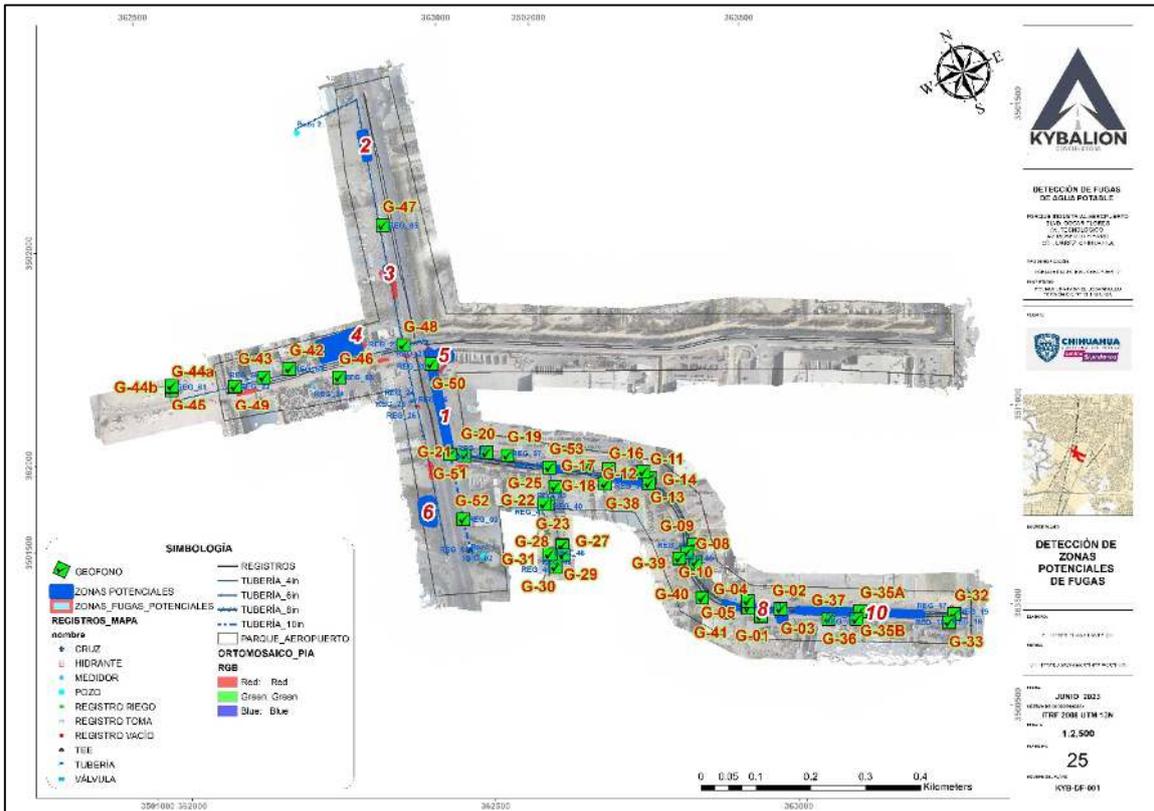


Figura 46. Correlación de técnicas para detección de zonas potenciales.

Agregando la detección de fugas con ayuda de la detección acústica se lograron identificar los tramos y sección de tubería de la red hidráulica que posiblemente tiene problemas de fugas. En la Figura 47 se muestra la correlación de la integración de técnicas con la detección acústica de fugas, donde se pueden establecer los tramos posibles con fugas.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023



5.2 FUGAS POTENCIALES

A partir de la información previamente analizada e integración de los resultados de las técnicas, podemos establecer los puntos, zonas y tramos con fugas potenciales. Para una mejor comprensión se establecen los siguientes criterios según la fuente de probable de fuga y su nivel de importancia, en función a su magnitud.

Para comprender el nivel de importancia de las fugas potenciales se establecen criterios y código de colores para entender el impacto y origen de la fuga. Primero se establece el “TIPO” de fuga, que en este caso es “POTENCIAL” y “CONFIRMADA”. La FUGA POTENCIAL es aquella que por medio de varias técnicas se ha logrado obtener una zona posible de humedad por fuga; por ejemplo, con el análisis satelital se determinaron zonas de vegetación, de las cuales algunas tienen mayor magnitud, por lo que la humedad presente en el lugar está asociada a la vegetación existente. Otro ejemplo son aquellas zonas que se determinaron con el análisis multiespectral, análisis termográfico y recorrido de georradar. Las FUGAS POTENCIALES se pueden dividir en PRINCIPALES o SECUNDARIAS FUGAS POTENCIALES SECUNDARIAS. Las FUGAS POTENCIALES PRINCIPALES se

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

caracterizan por tener coincidencias de humedad con dos o más técnicas indirectas, mientras que las FUGAS POTENCIALES SECUNDARIAS son aquellas que solo se pudieron obtener con al menos una técnica, o que fue descartada por alguna técnica puntual. Por ejemplo, una zona con alta presencia de humedad determinada con el análisis termográfico puede descartarse con el recorrido de campo o análisis de la imagen multispectral si se detectó humedad por riego o agua superficial al momento de realizar las mediciones con los sensores del DRON. En la Figura 48 se muestra la clasificación empleada para entender la propuesta de posibles fugas existentes en la red hidráulica.

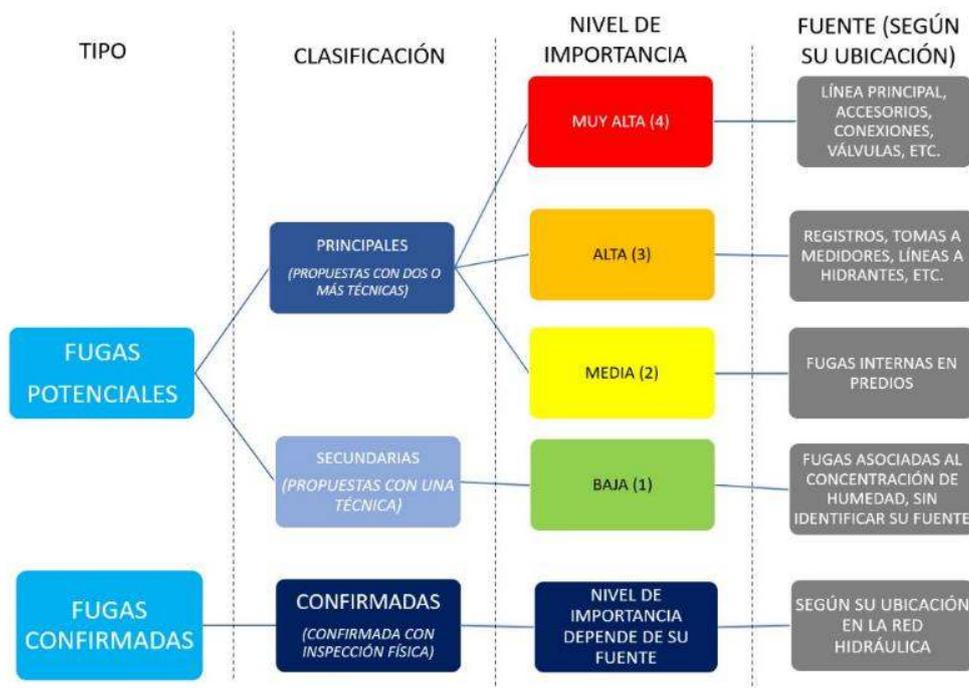


Figura 48. Clasificación de las fugas según su nivel de importancia y fuente.

En la Figura 48 se observa que las fugas potenciales están clasificadas por clase y se identifican por diferentes de colores según su nivel de importancia, que este asociado a la posible fuente de la fuga. El color Rojo con valor de 4, Naranja= 3, Amarillo=2 y Verde=1, de acuerdo con su nivel de importancia, donde el rojo tiene una importancia “MUY ALTA”, el naranja “ALTA”, el amarillo “MEDIA” y el verde “BAJA”, mientras que las fugas confirmadas se representan en color azul. Es decir, una fuga en un medidor de algún predio se puede considerar como “BAJA” o “MEDIA”, pero una fuga en la línea principal puede ser “ALTA” o



**DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL
PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN
CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.**

Fecha revisión

No. Revisión

Fecha elaboración

08 de junio 2023

“MUY ALTA”. Una fuga existente confirmada es aquella que tiene evidencias visuales o físicas de una fuga, y que se pudieron confirmar en campo.

Las FUGAS CONFIRMADAS son aquellas fugas que se pudieron obtener con algunas técnicas de campo como una inspección física o con geófono. Las FUGAS CONFIRMADAS se identifican con el color AZUL, y su nivel de importancia está asociada a la fuente de la fuga.

En la Figura 49 se muestra la ubicación de las fugas potenciales y fugas confirmadas de la red hidráulica del parque industrial. En la Tabla 3 se muestra la descripción de cada fuga con coordenadas UTM, ubicación y clasificación asignada.

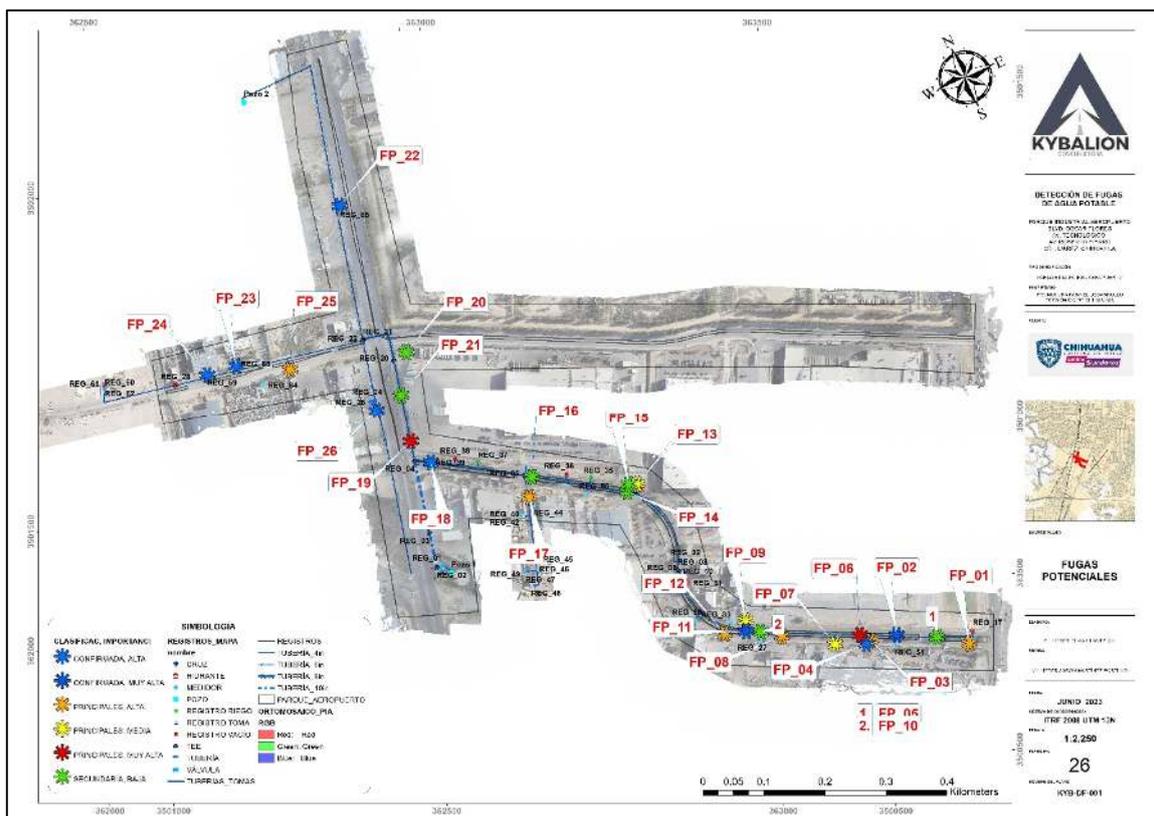


Figura 49. Fugas potenciales de la red hidráulica.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

Tabla 3. Descripción de las fugas potenciales.

#	ID	X	Y	TIPO	CLASIFICACIÓN	IMPORTANCIA	INDICE DE IMPORTANCIAL	FUENTE	UBICACIÓN
1	FP_01	363387.68	3500688.87	FUGA POTENCIAL	PRINCIPALES	ALTA	3	TUBERÍA	REG_16 Y REG_18
2	FP_02	363285.76	3500751.80	FUGA EXISTENTE	CONFIRMADA	MUY ALTA	4	REGISTRO RIEGO	CAMELLÓN
3	FP_03	363243.16	3500761.23	FUGA POTENCIAL	PRINCIPALES	ALTA	3	TUBERÍA HIDRANTE	REG_15 Y REG_52
4	FP_04	363233.97	3500759.64	FUGA EXISTENTE	CONFIRMADA	ALTA	3	FUGA EN MEDIDOR	REG_53
5	FP_05	363344.03	3500720.77	FUGA POTENCIAL	SECUNDARIA	BAJA	1	LÍNEA PRINCIPAL	REG_15 Y REG_16
6	FP_06	363230.97	3500777.32	FUGA POTENCIAL	PRINCIPALES	MUY ALTA	4	LÍNEA PRINCIPAL	REG_15 Y REG_16
7	FP_07	363187.93	3500780.87	FUGA POTENCIAL	PRINCIPALES	MEDIA	2	INTERIOR PREDIO	REG_54
8	FP_08	363113.86	3500829.40	FUGA POTENCIAL	PRINCIPALES	ALTA	3	TUBERÍA HIDRANTE	REG_14 Y REG_28
9	FP_09	363071.24	3500877.85	FUGA POTENCIAL	PRINCIPALES	MEDIA	2	INTERIOR PREDIO	REG_13
10	FP_10	363085.59	3500850.87	FUGA POTENCIAL	SECUNDARIA	BAJA	1	LÍNEA PRINCIPAL	REG_27
11	FP_11	363064.46	3500861.80	FUGA EXISTENTE	CONFIRMADA	MUY ALTA	4	VÁLVULA LÍNEA PRINCIPAL	REG_12
12	FP_12	363030.97	3500872.92	FUGA POTENCIAL	PRINCIPALES	ALTA	3	TUBERÍA	LÍNEA PRINCIPAL Y REG_57
13	FP_13	363005.25	3501157.11	FUGA POTENCIAL	PRINCIPALES	MEDIA	2	INTERIOR PREDIO	REG_07
14	FP_14	362985.18	3501152.29	FUGA POTENCIAL	SECUNDARIA	BAJA	1	LÍNEA PRINCIPAL	LÍNEA PRINCIPAL
15	FP_15	362992.48	3501163.09	FUGA POTENCIAL	SECUNDARIA	BAJA	1	LÍNEA PRINCIPAL	ALIMENTACIÓN A REG_34
16	FP_16	362854.17	3501240.91	FUGA POTENCIAL	SECUNDARIA	BAJA	1	LÍNEA PRINCIPAL	LÍNEA PRINCIPAL
17	FP_17	362835.91	3501212.28	FUGA POTENCIAL	PRINCIPALES	ALTA	3	TUBERÍA	TUBERÍA A HIDRANTE (REG_43)
18	FP_18	362714.21	3501332.55	FUGA EXISTENTE	CONFIRMADA	ALTA	3	REGISTRO RIEGO	
19	FP_19	362699.01	3501378.30	FUGA POTENCIAL	PRINCIPALES	MUY ALTA	4	LÍNEA PRINCIPAL	REG_04 Y REG_20
20	FP_20	362755.00	3501516.48	FUGA POTENCIAL	SECUNDARIA	BAJA	1	DESCONOCIDO	
21	FP_21	362717.71	3501455.98	FUGA POTENCIAL	SECUNDARIA	BAJA	1	LÍNEA PRINCIPAL	REG_04 Y REG_20
22	FP_22	362757.97	3501780.70	FUGA EXISTENTE	CONFIRMADA	ALTA	3	HIDRANTE	REG_65
23	FP_23	362493.42	3501613.95	FUGA EXISTENTE	CONFIRMADA	ALTA	3	MEDIDOR	REG_58
24	FP_24	362444.24	3501620.29	FUGA EXISTENTE	CONFIRMADA	ALTA	3	MEDIDOR	REG_59
25	FP_25	362570.75	3501571.47	FUGA POTENCIAL	PRINCIPALES	ALTA	3	TUBERÍA	REG 63 Y LÍNEA PRINCIPAL
26	FP_26	362670.78	3501449.40	FUGA EXISTENTE	CONFIRMADA	ALTA	3	MEDIDOR	REG_26

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

6 FUGAS POTENCIALES Y PROPUESTA DE EXPLORACIÓN

Con la intención de corroborar en campo la ubicación de las fugas potenciales descritas anteriormente, se decidió agregar este capítulo al documento; en el cual se describe con mayor precisión las fugas determinadas por las técnicas y la propuesta de exploración según la interpretación de los resultados de las técnicas implementadas.

La exploración física de las fugas son aquellas actividades y procedimientos en los cuales se localiza puntualmente el origen de la fuga, como puede ser excavaciones, exploración visual y directa de las tuberías, revisión de los accesorios y tomas domiciliarias, entre otras. En algunos casos es difícil definir un punto de exploración por medio de excavación cuando no se pudo identificar con precisión el origen de la fuga, por lo que se proponen tramos o secciones que se deben priorizar.

Para la explicación de la zona de exploración, se hace una breve descripción de las fugas potenciales y fugas confirmadas, utilizando como referencia la ubicación con respecto a las calles y avenidas del parque, así de como los predios existentes.

Sección 1

La sección 1 se ubica en la Av. Roberto Fierro y casi Av. Tecnológico. En la zona que comprende al predio de Maquinados Técnicos. Las fugas potenciales de esta sección son la FP_01, FP_02, FP_03, FP_04, FP_05, FP_06 y FP_07, ver Figura 50. Se hace una descripción de cada fuga:

- **FP_01.** Fuga potencial principal alta en tubería de conexión entre el hidrante (REG_18) y línea principal. Se asume que existe una fuga en esta tubería por las evidencias de humedad y por la detección realizada con el geófono. Se aproxima que la fuga se encuentre a mitad de la vialidad, pero se recomienda excavar en las zonas donde no existe pavimento o concreto.
- **FP_02.** Fuga existente confirmada muy alta en registro de riego. El registro se ubica en camellón de Av. Roberto Fierro a la altura del REG_51. Es una fuga presentada en las conexiones y puede repararse directamente.
- **FP_03.** Fuga potencial principal alta en tubería de conexión entre el hidrante (REG_52) y línea principal (REG_15). Se asume que existe una fuga en esta tubería por las evidencias de humedad y por la detección realizada con el geófono. Se



DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.

Fecha revisión

No. Revisión

Fecha elaboración

08 de junio 2023

aproxima que la fuga se encuentre a mitad de la vialidad, pero se recomienda excavar en las zonas donde no existe pavimento o concreto.

- **FP_04.** Fuga existente confirmada alta en medidor 3 de Maquinados Técnicos. La fuga es visible en las conexiones y puede repararse directamente.

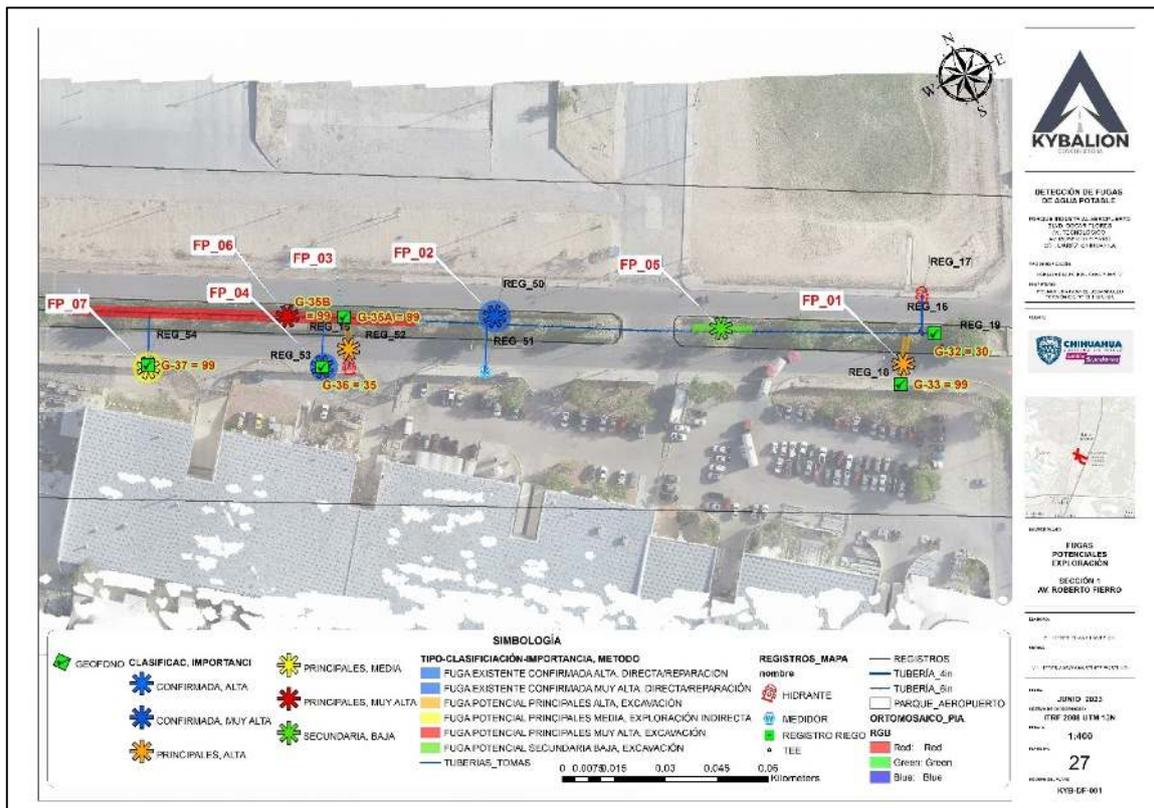


Figura 50. Fugas potenciales de la sección 1.

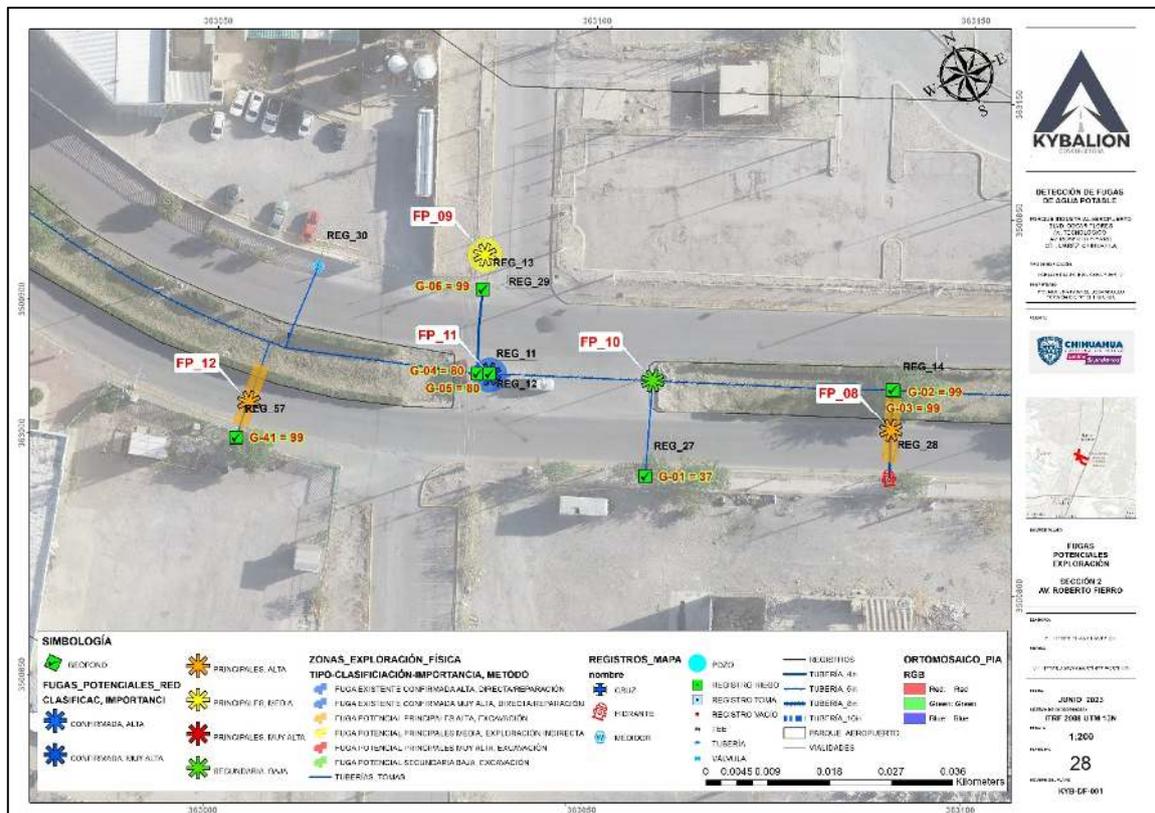
- **FP_05.** Fuga potencial secundaria baja en línea principal. Existe una humedad persistente que puede estar asociada a una pequeña fuga en la línea principal entre el REG 15 y REG_16. Se encuentra aproximadamente a 60 m desde el REG_16 al REG_15. Se recomienda excavar en las zonas donde no existe pavimento o concreto.
- **FP_06.** Fuga potencial principal muy alta en línea principal. La humedad detectada y las mediciones con el geófono indican una fuga potencial entre el REG 14 y REG_15. Sin embargo, no se localiza la zona de la fuga potencial, se estima que se encuentra entre una distancia de 80 m hacia el REG_14 y 22 m hacia el REG_16 desde el REG_15. Se recomienda realizar excavaciones a cada cierta distancia empezando por las cercanías del REG_15.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

- **FP_07.** Fuga potencial principal media en interior de predio. La fuga se localiza en el interior del predio después del medidor 4 de Maquinados Técnicos (REG_54). Se recomienda realizar una inspección en el interior de las instalaciones.

Sección 2

La sección 2 se ubica en la Av. Roberto Fierro. En la zona que comprende a lote baldío, medidor Smurfit Kappa e Industrias Zahorí. Las fugas potenciales de esta sección son la FP_08, FP_09, FP_10, FP_11 y FP_12, ver Figura 51. Se hace una descripción de cada fuga:



- **FP_08.** Fuga potencial principal alta en tubería de conexión entre el hidrante (REG_28) y REG_14. Se asume que existe una fuga en esta tubería por las evidencias de humedad y por la detección realizada con el geófono. Se aproxima que la fuga se encuentre a mitad de la vialidad, pero se recomienda excavar en las zonas donde no existe pavimento o concreto.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

- **FP_09.** Fuga potencial principal media en interior de predio. La fuga se localiza en el interior del predio después del medidor de Smurfit Kappa (REG_13). Se recomienda realizar una inspección en el interior de las instalaciones.
- **FP_10.** Fuga potencial secundaria baja en línea principal. Existe una humedad persistente y mediciones realizadas con el geófono en el registro cercano indican que puede estar asociada a una pequeña fuga en la línea principal y conexión con tubería hacia REG_27. Fuga posible en conexión hacia medidor de lote abandonado. Se recomienda excavar en las zonas donde no existe pavimento o concreto.
- **FP_11.** Fuga existente confirmada muy alta en válvula de la línea principal en el REG_12. Anteriormente se tenía una válvula dañada, la cual vibraba y producía un sonido fuerte. Por recomendación, se reemplazó con una válvula nueva se presentó fuga en conexiones.
- **FP_12.** Fuga potencial principal alta en tubería de conexión entre el medidor de Fabricentro (REG_57) y línea principal. Se asume que existe una fuga en esta tubería por las evidencias de humedad y por la detección acústica. Se aproxima que la fuga se encuentre a mitad de la vialidad, pero se recomienda excavar en las zonas donde no existe pavimento o concreto.

Sección 3

La sección 3 se ubica en la Av. Roberto Fierro. En la zona que comprende el acceso a planta BD Oasis. Las fugas potenciales de esta sección son la FP_13, FP_14 y FP_15, ver Figura 52. Se hace una descripción de cada fuga:

- **FP_13.** Fuga potencial principal media en interior de predio. La fuga se localiza en el interior del predio después del registro (REG_7) en dirección a la toma de 2". Se recomienda realizar una inspección en el interior de las instalaciones.
- **FP_14.** Fuga potencial secundaria baja en línea principal aproximadamente a 14 m del REG_06 hacia REG_05. Existe una humedad persistente y mediciones realizadas con el geófono en el registro cercano indican que puede estar asociada a una pequeña fuga en la línea principal. Se recomienda excavar en las zonas donde no existe pavimento o concreto antes de explorar directamente en la zona probable de fuga.
- **FP_15.** Fuga potencial secundaria baja en tubería que conecta la línea principal y el registro del medidor de BD Oasis (REG_34). Existe una humedad persistente en el subsuelo por debajo del asfalto que puede estar asociada a una pequeña fuga en la tubería. Es importante mencionar que esta presencia de humedad puede estar asociada a la fuga FP_14 o viceversa. Se recomienda realizar pequeñas

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

excavaciones sobre el camellón para determinar si la humedad proviene de esa zona antes de realizar ruptura del asfalto.

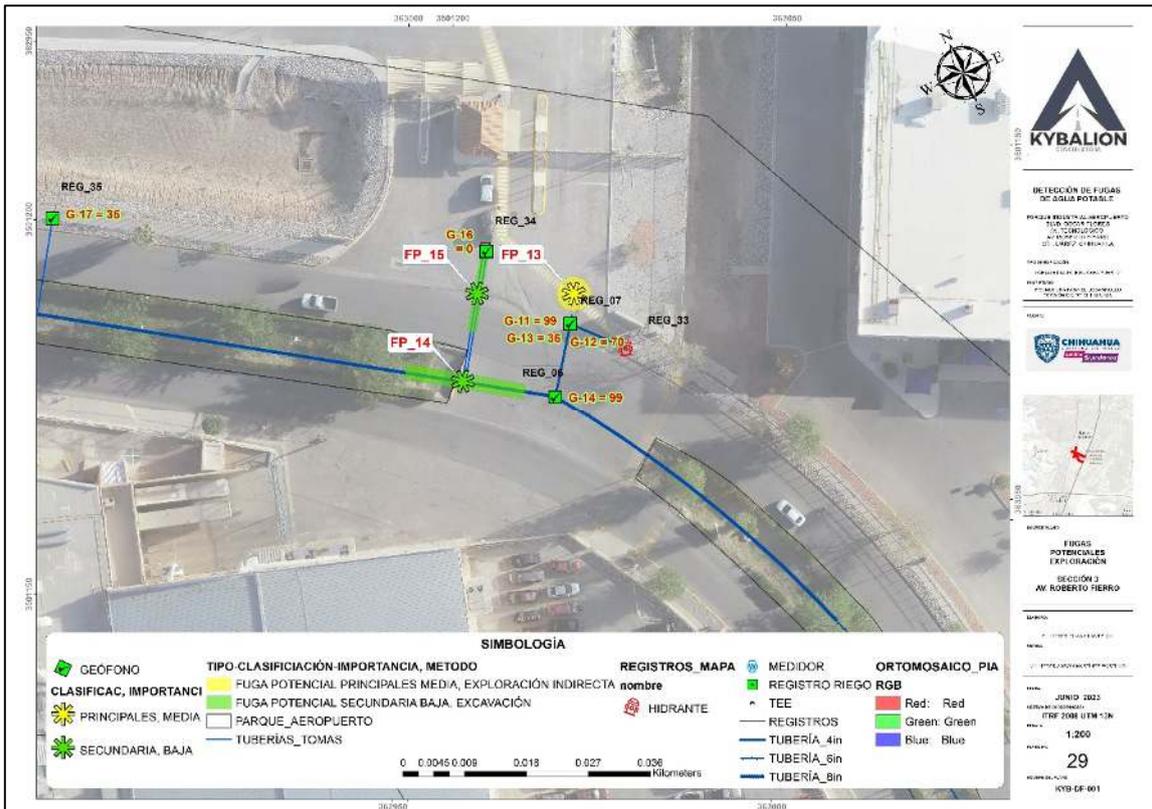


Figura 52. Fugas potenciales de la sección 3.

Sección 4

La sección 4 se ubica en la Av. Roberto Fierro y calle Francisco Sarabia. En la zona que comprende el inicio de la vialidad acceso a Seisa. Las fugas potenciales de esta sección son la FP_16 y FP_17, ver Figura 53. Se hace una descripción de cada fuga:

- **FP_16.** Fuga potencial secundaria baja en línea principal a 12 m del REG_5 con dirección hacia el REG_6. Existe una humedad que pueden estar asociada a una pequeña fuga en la línea principal. Esta fuga puede ser por el sistema de riego o la humedad por efecto de la vegetación existente. Se recomienda excavar en el área verde del camellón.
- **FP_17.** Fuga potencial principal alta en tubería de conexión entre el hidrante (REG_43) y línea principal. Se asume que existe una fuga en esta tubería por las



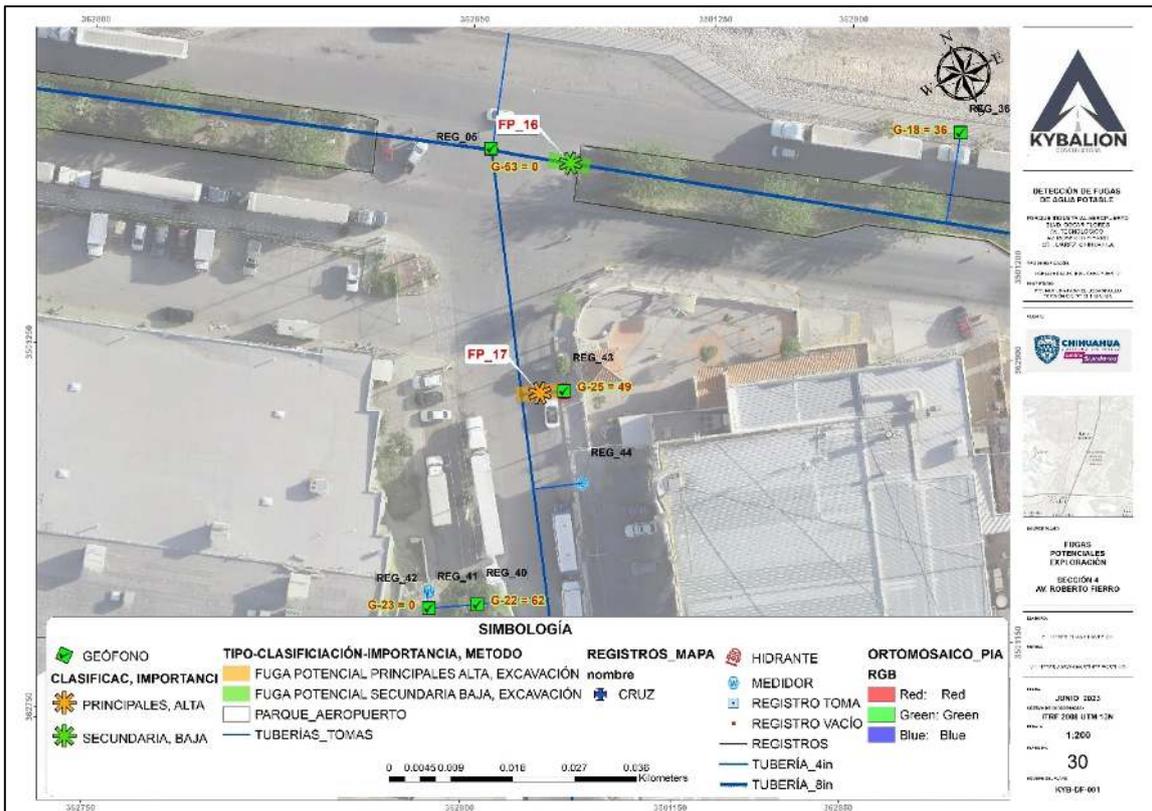
DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.

Fecha revisión

No. Revisión

Fecha elaboración
08 de junio 2023

evidencias de humedad y por la detección realizada con el geófono. Se aproxima que la fuga se encuentra cerca de la acera, pero se recomienda monitorear la humedad del registro más cercano antes de excavar en pavimento o concreto.



Sección 5

La sección 5 se ubica en el cruce BLVD. Óscar Flores y Av. Roberto Fierro. Las fugas potenciales de esta sección son la FP_18, FP_19, FP_20, FP_21 y FP_26, ver Figura 54. Se hace una descripción de cada fuga:

- **FP_18.** Fuga existente confirmada muy alta en registro de riego en camellón de Av. Roberto Fierro, a 26 m Blvd. Óscar Flores. Es una fuga presentada en las conexiones del registro de riego y puede repararse directamente.
- **FP_19.** Fuga potencial principal muy alta en línea principal entre el REG_04 y REG_20 ubicada en el interior del predio de BD Oasis en el perímetro del Blvd. Óscar Flores. La humedad detectada por varias técnica y las mediciones con el geófono

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

indican una fuga potencial. Se encuentra aproximadamente entre 20 y 40 m en dirección del REG_04 al REG_20. Se recomienda realizar excavaciones a cada 5 m para identificar la presencia de agua.

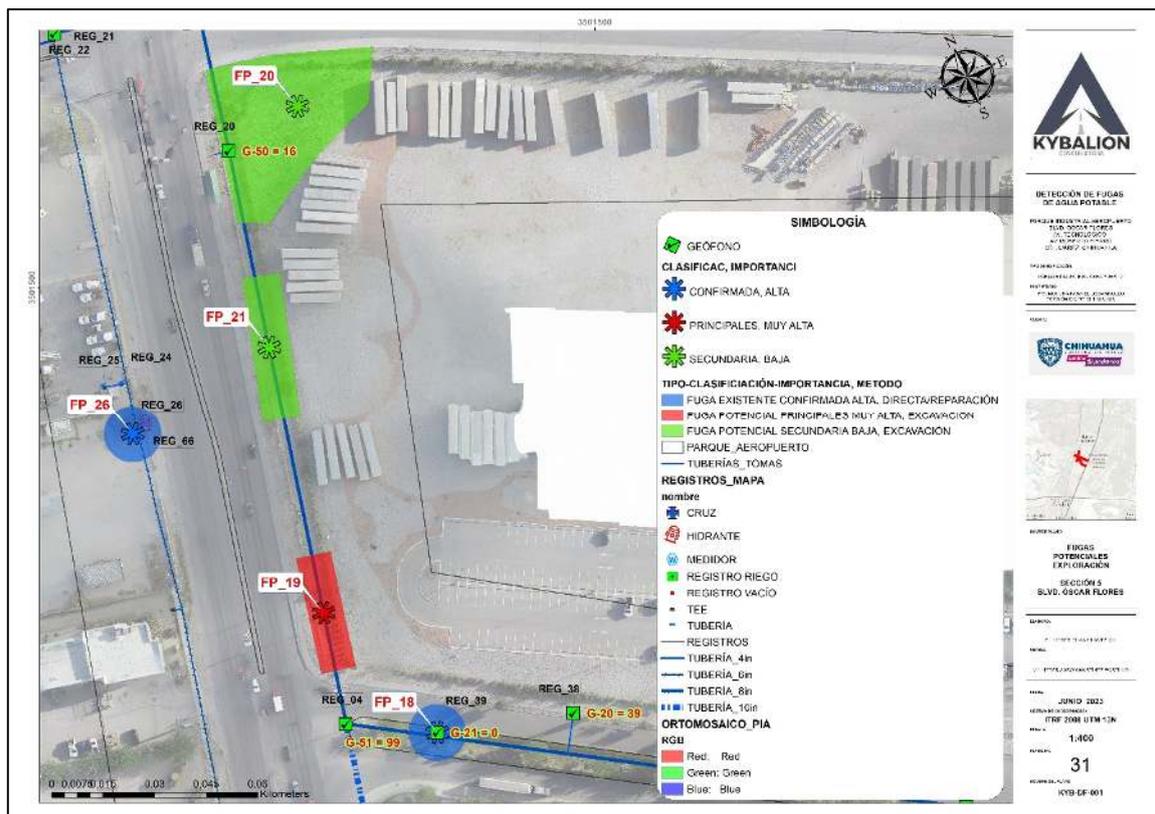


Figura 54. Fugas potenciales de la sección 5.

- **FP_20.** Fuga potencial secundaria baja en zona con humedad persistente en el subsuelo. Humedad constante en interior de predio de BD en cruce de Blvd. Óscar Flores y C. Barranco Azul. Se recomienda revisar esta zona, la humedad presentada puede ser por fuga de la línea de red hidráulica.
- **FP_21.** Fuga potencial secundaria baja en línea principal entre el REG_04 y REG_20 ubicada en el interior del predio de BD Oasis en el perímetro del Blvd. Óscar Flores. Existe una humedad que pueden estar asociada a una pequeña fuga en la línea principal. Se recomienda excavar en la zona para detectar la fuente de esa humedad.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

- **FP_26.** Fuga existente confirmada alta en registro de medidor de ZGAS en el REG_26. Es una fuga presentada en las conexiones en la toma domiciliar que puede repararse directamente.

Sección 6 - FP_22

La sección 6 se ubica en el cruce Blvd. Óscar Flores. La fuga existente confirmada alta que se presenta es la FP_22, se presenta en el hidrante (REG 65). Se recomienda reparar la fuga directamente (ver Figura 55).



Figura 55. Fugas potenciales de la sección 6.

Sección 7

La sección 7 se ubica en la Calle Barranco Azul cercano a las vías del tren. En la zona que comprende al predio de CENALTEC y el corralón municipal. Las fugas potenciales de esta sección son la FP_23, FP_24 y FP_25, ver Figura 56. Se hace una descripción de cada fuga:



DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.

Fecha revisión

No. Revisión

Fecha elaboración

08 de junio 2023

- **FP_23.** Fuga existente confirmada alta en medidor de CENALTEC en el REG_58. La fuga es visible en las conexiones y puede repararse directamente.
- **FP_24.** Fuga existente confirmada alta en medidor de ALMEX en el REG_59. La fuga es visible en las conexiones y puede repararse directamente.
- **FP_25.** Fuga potencial principal alta entre la línea principal y el medidor de FEM (REG_63). Se asume que existe una fuga en esta tubería por las evidencias de humedad y por las mediciones realizadas con el geófono. Se aproxima que la fuga se encuentra cerca a la acera del predio de FEM. Se recomienda excavar en las zonas donde no existe pavimento o concreto para su identificación. Además, se observa un consumo muy elevado considerando que solo es una bodega.



Figura 56. Fugas potenciales de la sección 7.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La combinación de resultados de las metodologías empleadas nos permite obtener las siguientes conclusiones del sistema de distribución de agua potable del parque PIA

1. Se realiza el mapeo y catastro de la red de distribución de agua potable del parque, destacando los siguientes hallazgos:
 - En el registro 12 se localiza una válvula dañada lo que no permite el correcto flujo de agua.
 - En el registro 53, correspondiente a medidor de la empresa Maquilados Técnicos se detecta una fuga en medidor.
 - Registro 14 corresponde a hidrante y se detecta un flujo de agua que proviene de la tubería.
 - Registro 07 en acceso a BD Oasis se detecta una tubería de PVC de 2" que ingresa al predio y de la cual no se tenía registro.
 - Registro 34 en acceso a BD Oasis se tienen dos tuberías de 2", solo una de ellas cuenta con medidor, la otra solo cuenta con válvula de esfera.
 - Registros 40 y 41 tienen una red de tuberías que salen a diversas direcciones y no se cuenta con medidor hasta el registro 42.
 - El tramo de registro 04 a registro 20 corre por el interior de planta BD Oasis, y no se tiene acceso al registro 20.
 - En el cruce de las calles Oscar Flores y Barranco azul no existe registro para el cambio de dirección de la red.
 - En el exterior de pozo 2 no existe registro para cambio de dirección de la red.
 - Se detecta una continuación de la red que se extiende más allá de registro 23, del cual no se tenía registro.
 - Se detecta fuga de agua en registro 26 correspondiente a predio Z Gas.
 - Se encuentra la red de agua potable de la junta de aguas, la cual corre paralela a la calle Oscar Flores a una profundidad de 2.50 metros.
2. Recorrido con georradar.
 - Se hace un recorrido en ambos lados de la línea de agua principal en búsqueda de tomas no reportadas o declaradas, no se detecta ninguno de estas.
 - Se hace exploración sobre calle Barranco Azul, después de registro 23 para ubicar trayectoria de tubería detectada en la etapa de catastro, misma que se encuentra que llega hasta 120 metros más adelante.
 - Se hace exploración sobre Av. Oscar Flores en sentido norte-sur para detectar el límite de la red, el cual llega hasta antes del acceso de planta Foxconn CTBG Juárez.



**DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL
PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN
CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.**

Fecha revisión

No. Revisión

Fecha elaboración

08 de junio 2023

Se recomienda llevar las siguientes acciones:

- Se recomienda colocar tapones adicionales en las válvulas que se encuentren en el extremo de la red hidráulica especialmente en (ver Figura 57):
 - Av. Roberto Fierro y Av. Tecnológico.
 - Calle Barranco Azul y vías ferroviarias, o hasta el último medidor que pertenece a la red del parque.
 - BLVD. Óscar Flores y esquina predio con Foxconn. Se recomienda construir una caja de válvulas, ya que solo se identificó la trayectoria de la tubería por medios indirectos.
 - BLVD. Óscar Flores y Pozo 2.



Figura 57. Aislar extremos de la red hidráulica.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

- Regularizar o clausurar las tomas de medidores desconocidos:
 - o Clausurar la doble alimentación en el medidor de BD (G-16).
 - o Clausurar toma de 2" ubicada en el REG_7 (Av. Roberto Fierro).
 - o Clausurar medidor G-01 (Av. Roberto Fierro).
- Instalar medidor en el registro de Maseca (REG_40).
- Reubicar los medidores de SEISA hacia el exterior del predio.
- Notificar a usuarios de las fugas existentes en el interior del predio (después de medidor):
 - o REG_13, Smurfit Kappa
 - o REG_54, Medidor 4 Maquinados Técnicos.
 - o REG_26, ZGAS.
- En el medidor de FEM (REG_63) se observa un consumo muy elevado considerando que solo es una bodega.
- Se recomienda ampliar los diámetros de los accesorios y conexiones de los medidores donde se presenta baja presión en el sistema.
- Se debe revisar las conexiones de agua potable del predio donde se ubica la Estación de Bomberos y de la Concretera. No se determinaron tuberías de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento que abastecieran esos predios.

	DETECCIÓN DE FUGAS DE AGUA POTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL AEROPUERTO UBICADO EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.	Fecha revisión
		No. Revisión
		Fecha elaboración 08 de junio 2023

BIBLIOGRAFÍA

- [1] UACJ, “Diagnostico de la situación actual en la zona Norte y Sur de la cuenca El Barreal,” Cd. Juárez. Chihuahua, 2016.
- [2] IMIP, Instituto Municipal de Investigación y Planeación, “Plan de Desarrollo Urbano de Ciudad Juárez,” Juárez, 2004.
- [3] US RADAR, “GEORADAR,” [Online]. Available: <https://georadares.com.mx/productos/us-radar/quantum-imager/>. [Accessed 2020].
- [4] V. Shandas , J. Voelkel, J. Williams and J. Hoffman, “Integrating Satellite and Ground Measurements for Predicting Locations of Extreme Urban Heat,” *MDPI/Academic Open Acces Publishing*, Vols. Climate,, no. 7, 2019.
- [5] J. Piazzese and E. Oñate, “Metodología para la obtención de información geográfica, geofísica y geo-ambiental desde imágenes satelitales. Aplicación a la simulación de inundaciones.,” CIMNE, Barcelona, España, 2004.
- [6] A. Roman-González and N. I. Vargas, “Análisis de imágenes hiperespectrales,” Escuela Militar de Ingeniería, La Paz, Bolivia, 2018.
- [7] J. Palacios, “ANÁLISIS TERMOGRÁFICO,” INGENIERÍA Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL, VALENCIA}.
- [8] NASA, “Applied Remote Sensing Training,” 2020. [Online]. Available: <https://arset.gsfc.nasa.gov/>.