



Capítulo 5



Sentir el viento y mirar al cielo para encontrarte en tierra: la lectura de condiciones climato-meteorológicas y de otros aspectos naturales como herramienta para la búsqueda en campo y la identificación de personas desaparecidas

José Darío Pereira Benítez y Luz Adriana Vizcaíno Rodríguez

Resumen

En este texto se realizan apuntes acerca de algunos de los efectos que pueden tener las condiciones climato-meteorológicas y del entorno natural en los cuerpos o restos humanos depositados en inhumaciones clandestinas del territorio de Jalisco, México, y sus inherentes implicaciones para los procesos de búsqueda, localización e identificación de personas desaparecidas; encontrándose que factores como la cantidad de precipitación, la temperatura, la existencia de cuerpos de agua cercanos a los sitios de inhumación o el tipo de suelo en el que éstos se ubiquen pueden interferir con los procesos de descomposición orgánica a tal grado de, bajo condiciones muy específicas, poder degradar el ADN presente en los restos humanos, complicando o incluso impidiendo la realización de procesos de identificación genética humana, fundamentales en esta clase de hechos.

Ante la imposibilidad de trabajar en sitios de hallazgo reales, las asociaciones y/o causalidades planteadas se desprenden del estudio documental y en campo de las características climáticas y naturales presentes en torno a dos sitios de experimentación

sobre inhumaciones clandestinas en las que se utilizan cadáveres animales para observar los procesos de descomposición de la materia orgánica. A partir de ello se hace una extrapolación.

Palabras Clave: inhumaciones clandestinas, meteorología, contaminación de suelos y agua, degradación del ADN, identificación humana.

1. Dime dónde vives y te diré quién eres: sobre la influencia del clima y el entorno natural en la actividad humana

De manera inevitable, el entorno natural en el que se desenvuelve una sociedad tiene un impacto significativo, incluso definitorio, en cómo ésta y quienes la integran se configuran y evolucionan.

En función de cómo sea este “dónde”, un mismo asunto puede seguir caminos distintos: se le teme a los sismos, a las nevadas, a las tormentas de arena o a los ciclones; se confecciona ropa ligera o abrigadora; se construyen casas de adobe, madera o piedra; se socializa al interior de estas viviendas o en espacios abiertos; se dispone de frutas o de cereales, de carnes o de pescados; hay costumbres e identidades costeñas, citadinas o del campo; las personas se desplazan en autos, embarcaciones o hasta teleféricos; se desarrollan tecnologías para adaptarse al entorno o es el entorno el que se adapta.

La lista puede no tener fin y, como se ve, contempla desde grandes cuestiones fundamentales, pasa por el enraizamiento de conductas individuales o sociales y llega, en su nivel más pragmático, a definir distintas vías para conseguir la satisfacción de necesidades básicas y la solución de problemas prácticos.

Así, comprendiendo al medioambiente como “un sistema complejo con múltiples interrelaciones que unen a elementos naturales y sociales” (Leal, 1986, en Sánchez, 2014), es posible afirmar que el éxito o fracaso en los intentos por solventar cualquier complicación, dependerá en gran medida del nivel de conocimiento que se tenga sobre las características del entorno, por ello, el conocer de forma anticipada cualquier cambio venidero es una apuesta a favor del objetivo que se persigue.

Como cualquier otra actividad humana, las acciones de búsqueda, localización e identificación de personas desaparecidas no están exentas de verse impactadas, positiva o



negativamente, por las condiciones ambientales. Así, en este texto se registran y describen las condiciones climáticas y meteorológicas y otros aspectos del entorno natural de los polígonos de experimentación y, con base en registros históricos y algunos aspectos observados en los sitios de inhumación experimentales, se analizan algunas posibles correlaciones entre dos aspectos relevantes en contextos de búsqueda forense experimental.

Para propiciar una comprensión integral del texto por parte de un público amplio, como segundo apartado se presenta un breve repaso de algunos conceptos referentes a los temas abordados.

En un tercer acápite se presentan algunas notas sobre los efectos que las condiciones de clima y tiempo meteorológico así como los compuestos químicos presentes en suelos y aguas pueden tener en las condiciones del terreno y en los procesos de descomposición cadavérica y de material genéticos, tomando como marco referenciales variables como la clasificación climática¹ y la taxonomía de suelos².

En un cuarto apartado se abordan en un nivel descriptivo algunos aspectos climato-meteorológicos e hidrológicos propios de la geografía en que se ubican los sitios de experimentación (Polígono 1 y Polígono 2) y algunos fenómenos de interés observados durante el periodo de experimentación.

Finalmente, se presenta con fines meramente referenciales una extrapolación de las características descritas en el capítulo previo al resto del territorio de Jalisco.

2. Percibir la lluvia (y entender de dónde viene): conceptos básicos para poder interpretar el estado del tiempo

En principio, es necesario diferenciar entre clima y tiempo atmosférico, términos que a menudo se confunden en el habla diaria pero que poseen definiciones técnicas distintas. El clima se

1 Siguiendo el Sistema de Clasificación Climática de Köppen, división genérica basada en los niveles de temperatura y aridez, y como están relacionados a fronteras de vegetación. La aridez es expresada, generalmente, como precipitación efectiva, la cual se calcula como el cociente entre precipitación y temperatura. Los tipos climáticos son definidos por la respuesta de la flora a ellos. Los climas están divididos en seis grandes grupos, conforme a los grandes tipos de vegetación asociados, principalmente determinados por temperaturas críticas y a la estacionalidad de la precipitación. México utiliza este sistema con las modificaciones de E. García (1964) e INEGI (1980).

2 Siguiendo el Sistema de Clasificación *World Reference Base for Soil Resources* (WRB).



refiere a las condiciones promedio de la atmósfera en una región durante largos periodos temporales (generalmente, un mínimo de 30 años³), mientras que el tiempo atmosférico describe unas más específicas y delimitadas a un momento dado (cierto día, determinada hora); es decir, el concepto de tiempo atmosférico engloba la mayoría de las magnitudes que se usan de forma cotidiana por la población general al hablar de “clima”.

Estrechamente ligada se halla la temperatura, que es posible definir como una escala de medición de la energía térmica, comúnmente de aquella presente en la fracción de la atmósfera que se encuentra en contacto con la superficie terrestre (INEGI, 2005). Su medición es realizada de forma constante en estaciones meteorológicas y los registros obtenidos correspondientes a las temperaturas máximas y mínimas de cada día son los datos que se utilizan como insumo para el cálculo de la temperatura media, que puede ser referente a un día (promedio de la temperatura máxima y la mínima registrada en dicha jornada), a un mes (promedio de las máximas y las mínimas de cada día del periodo) o un año específico (promedio de las temperaturas medias de cada uno de los 12 meses del año en cuestión).

La temperatura está estrechamente relacionada con la presión atmosférica que, en términos simples se refiere a la fuerza que ejerce el aire sobre la superficie terrestre.

Por precipitación se entiende a toda caída a la superficie de la tierra de agua procedente de la atmósfera, ya sea que esta se presente en estado líquido o en el sólido, por lo que, además de la lluvia, dentro de este concepto se incluyen fenómenos como las granizadas o las nevadas (INEGI, 2005).

Para comprender el método de medición de qué tan cuantiosa o no resulta una precipitación es posible pensar en una superficie cuadrada de un metro por lado; si sobre este se derrama un litro de agua, en condiciones ideales en el que éste no se esparciera, absorbiera o evaporara, el líquido alcanzaría una altura de un milímetro (mm). Es por ello que precisamente ésta es la unidad básica constituida para medir el volumen de las precipitaciones.

Además de la caída de agua en las formas antes mencionadas; una fase menos visible del ciclo del agua es su regreso a la atmósfera en su forma gaseosa, es decir, como vapor de agua. Éste llega al aire, primordialmente, de dos maneras: en principio, las plantas sueltan en forma de vapor el agua que no utilizan mediante un proceso denominado transpiración; a



esto se suma el vapor surgido de la evaporación del agua presente en el suelo. Al conjunto de estos dos fenómenos estrechamente ligados se denomina evapotranspiración y es responsable de que percibamos el ambiente como seco o húmedo, algo que generalmente se mide en términos porcentuales y bajo la denominación de humedad relativa.

Por otro lado, ya en el campo de la hidrología, pero estrechamente relacionado con las condiciones de humedad, resulta necesario tomar en cuenta la capacidad de infiltración de los suelos, que se define como “el proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el subsuelo” (SIAPA, 2014), donde se forman los acuíferos.

Un último concepto de relevancia, perteneciente a la química, es el potencial de Hidrógeno (pH). Éste se refiere al grado de acidez o alcalinidad de una sustancia y se mide en una escala de va del 0 al 14, siendo siete el valor considerado neutro. Los valores por debajo de esta cifra son indicadores de acidez y los mayores a ésta, de alcalinidad.

3. Impacto de variables meteorológicas en los suelos y de éstos y las aguas en escenas de hallazgos

Si bien existen múltiples visiones respecto a qué se comprende por medioambiente, la idea ya mencionada de entender al entorno natural como un sistema con un sinnúmero de interrelaciones complejas entre sus componentes no es extraña: basta pensar en fenómenos como el cambio climático para comprender los efectos de la actividad humana en las condiciones y magnitudes propias del entorno natural.

Para el caso de las búsquedas post mortem de personas desaparecidas realizadas en campo, las condiciones meteorológicas e hidrológicas presentes resultan relevantes en dos frentes principales: por sus efectos sobre las condiciones de los suelos donde se busca y por los cambios que éstas pueden ejercer en los procesos de conservación o descomposición de la materia orgánica, incluyendo, por supuesto, a restos humanos y al ADN contenido en ellos.

En términos generales, los efectos de las variables meteorológicas en los suelos siguen principios como que las áreas de baja presión atmosférica tienden a asociarse con mayor precipitación, mientras que las áreas de alta presión se asocian con condiciones más secas. La cantidad de lluvia generada en función de ello afecta tanto la formación del suelo como su composición y su fertilidad.

Como es sabido, una alta precipitación propicia condiciones de gran humedad en la tierra, lo que facilita procesos de saturación, infiltración y recarga de acuíferos, pero también la aceleración en la descomposición de materia orgánica y la formación de humus.

No obstante, no es tan simple, pues, hay un gran entramado de factores que entran en juego. Zotarelli et al. (2010), lo explican así:

“Los suelos presentan cantidades variables de agua dependiendo de su textura, estructura y contenido de materia orgánica. Después que el suelo es saturado por efecto de riego o lluvia, se presenta un rápido movimiento descendente (drenaje) de una parte del agua del suelo debido a la fuerza de gravedad. Durante el drenaje del agua, la humedad del suelo disminuye continuamente, y la velocidad con la cual acontece está relacionada con la conductividad hidráulica del suelo. Por lo tanto, el drenaje en suelos arenosos siempre será mayor comparado con los suelos arcillosos, por lo que los suelos arenosos presentarán porcentajes de humedad a capacidad de campo menores que los suelos arcillosos” (Zotarelli et al., 2010, p. 1).

Otros factores de importancia son la evaporación y la transpiración de las plantas, debido a que cuando el aire ya contiene grandes cantidades de vapor de agua se tiene un efecto en que el suelo tiene mayor retención. En contraparte, con poca humedad ambiental, los suelos más secos y con menor contenido de materia orgánica, lo que, en contextos de búsqueda en campo, generaría complicaciones para las labores de remoción de tierras.

Por otro lado, en lo referente a la conservación de cuerpos y restos humanos, en principio es preciso recordar que la vida es un proceso dinámico que requiere de adaptación continua o resiliencia para conservarse y, cuando ésta cesa, se observan fenómenos cadavéricos (hipóstasis, livideces, rigidez, enfriamiento, putrefacción, etc.) mediante los que la morfología y aspecto del cuerpo se modifican y deterioran. Sin embargo, debido a la intervención de factores internos o externos, el deterioro cadavérico es individual e impredecible.

En este sentido, las implicaciones del tiempo atmosférico resultan de alta relevancia. De acuerdo con la literatura, la temperatura óptima para la descomposición está entre los 21 y los 38 grados centígrados y es favorecida por niveles altos de humedad. Así, se estima que en el trópico la transformación de cuerpos expuestos hacia un grado de putrefacción de moderada a avanzada ocurre en las 48 horas posteriores al deceso y la reducción esquelética puede darse

en pocas semanas. En otras condiciones, los tiempos varían; siguiendo la regla de Casper, una semana al aire libre equivale a dos en agua y a ocho en suelo (Pachar, 2013).

Otros factores que pueden alterar la curva de enfriamiento cadavérica incluyen la presencia de corrientes de aire; el peso y los niveles de acumulación de grasas de la persona fallecida; la ausencia o el número de capas de ropa presentes en el cuerpo, entre otros.

Varios de estos aspectos también pueden tener incidencia en la recuperación del material genético necesario para ciertos procesos de identificación humana. Como se expone en el *Manual sobre Métodos de Extracción de ADN de Restos Óseos Humanos No Identificados*:

“Las temperaturas bajas durante el periodo de deposición de un resto favorecen su conservación óptima (..) En el lado opuesto, la presencia de elevadas temperaturas puede favorecer la deshidratación parcial del ADN, deteniendo los procesos de hidrólisis” (Comisión Internacional sobre Personas Desaparecidas, 2022, p. 23).

En la Tabla 1 se muestra cómo la temperatura, la humedad y el pH del suelo tienen efectos en el ADN. En términos generales las altas temperaturas, la humedad alta y el pH ácido son las peores condiciones para la conservación del ADN; mientras que, por el contrario, las bajas temperaturas, la humedad baja y el pH neutro benefician su conservación en largos periodos de tiempo. Las distintas combinaciones se muestran a continuación.



Sentir el viento y mirar al cielo para encontrarte en tierra:
La lectura de condiciones climato-meteorológicas y de otros aspectos naturales como herramienta para la búsqueda en campo y la identificación de personas desaparecidas

Tabla 1. Distintas variables y sus efectos sobre el ADN

Combinación	Temperatura	Humedad	pH	Efectos en ADN
1	Alta	Alta	Ácido	Rápida degradación del ADN, con pérdida significativa de integridad en un corto período
2	Baja	Baja	Neutro	Excelente conservación del ADN durante largos periodos
3	Alta	Baja	Alcalino	Moderada a rápida degradación del ADN
4	Moderada	Alta	Neutro	Conservación moderada del ADN, pero con riesgo de degradación a largo plazo
5	Baja	Alta	Ácido	Conservación limitada del ADN
6	Alta	Baja	Ácido	Rápida degradación del ADN, aunque puede ser más lenta que en condiciones de alta humedad
7	Baja	Baja	Alcalino	Buena preservación del ADN en periodos cortos
8	Moderada	Baja	Neutro	Conservación buena a moderada del ADN

Fuente: elaboración propia.

El mismo documento recoge que las condiciones de alta humedad son desfavorables, toda vez que propician la penetración de otras sustancias orgánicas presentes en el suelo hacia los restos óseos, generando que el material genético pueda presentar “moléculas, además de favorecer la degradación hidrolítica y oxidativa”.

En lo que al suelo respecta, los Vertisoles se caracterizan por ser pesados bajo condiciones alternadas de saturación-sequía, presentando grietas anchas, abundantes y profundas cuando están secos y compuestos por más de 30 por ciento de arcillas expandibles (INEGI, 2021b). El tipo Vertisol contiene algunas sustancias minerales que suponen una ventajosa particularidad que puede facilitar el regreso de la identidad a las personas no identificadas cuyos cuerpos o restos son localizados en inhumaciones ilegales:

“Se ha apuntado la posibilidad de que ciertos compuestos minerales del suelo, como la montmorillonita, la caolinita, el feldespato o el cuarzo, podrían asociarse al ADN protegiéndolo frente a la acción de las endonucleasas. También se ha documentado la posibilidad de que la unión del ADN con ácidos húmicos del suelo causaría el mismo efecto protector, ya que inhiben la acción de enzimas biológicas. Sin embargo,

otros componentes propios del suelo pueden ejercer el efecto contrario” (Comisión Internacional sobre Personas Desaparecidas, 2022, p. 24).

Respecto al arsénico, elemento existente en formas orgánicas e inorgánicas (siendo estas últimas la de mayor presencia y toxicidad), es posible decir que cuenta con propiedades que, según la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (2016) propician su distribución en todo tipo de entornos:

- Puede encontrarse en agua de escorrentía o en agua que se filtra a través del suelo.
- Puede permanecer en el aire y en el suelo, que habitualmente es su destino final.
- No puede ser destruido en el ambiente, solamente puede cambiar de forma o adherirse o separarse de partículas.
- Puede cambiar de forma al reaccionar con oxígeno o con otras moléculas presentes en el aire, el agua o el suelo, o por la acción de bacterias que viven en el suelo o el sedimento.

Además, el arsénico tiene la capacidad de provocar procesos oxidativos en el ADN, lo que para los fines de búsqueda, implicaría la imposibilidad de extraer de escenarios de hallazgo muestras útiles para efectos de identificación humana:

“Uno de los componentes de la molécula de ADN que es susceptible a ser dañado por radicales libres es la desoxirribosa 23, la que al oxidarse puede inducir el rompimiento del enlace entre este azúcar y el grupo fosfato del siguiente nucleótido, mecanismo mediante el cual se forman rompimientos de cadena sencilla, los que son reparados por medio de las enzimas correspondientes. Cuando gran cantidad de radicales hidroxilo atacan una parte restringida de la molécula de ADN, se forman numerosos rompimientos de cadena sencilla, que por su cercanía podrían conducir a la formación de rompimientos de cadena doble, los que provocan daño permanente al material genético” (González-Torres et al., 2000, p. 4).

En este punto surge una paradoja, pues previamente se explicó que algunos minerales presentes en suelos brindan una protección al mismo material genético. Siendo el arsénico también un elemento mineral, ¿cuál fenómeno resultaría dominante?



Para Georgina Leyva, ingeniera química del Instituto Politécnico Nacional (IPN) especializada en protocolos de remediación ambiental, en última instancia se trataría de una cuestión de la balanza se inclinaría en términos de copiosidad, un factor altamente variable incluso en pequeñas extensiones de suelo:

“Dependería de la cantidad o la concentración de cada compuesto. Si predominan los que tienen propiedades de conservación (el material genético) perduraría, pero si es mayor la concentración de arsénico u otros compuestos de efectos similares, se degradaría, pero esas concentraciones en el suelo pueden variar mucho de un metro a otro” (comunicación personal, 05 de junio 2024).

4. Descifrando el lenguaje de la arcilla: caracterización ambiental de los sitios de experimentación, descripción de fenómenos ocurridos y algunas posibilidades teóricas

El sitio de experimentación denominado Polígono 1 se localiza en el municipio de Tonalá, Jalisco, sobre suelos arcillosos de tipo Vertisol y con una particular ubicación entre dos cuerpos de agua: la presa *Las Rucias* y la presa *El Cajón*.

Por su parte, el Polígono 2 se encuentra en el municipio de Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, a escasa distancia de la ribera norte de la laguna de Cajititlán, también sobre suelos de la misma clasificación⁴ con estructura masiva y alto contenido de arcilla color negro, gris oscuro o café rojizo, así como con susceptibilidad a la erosión y alto riesgo de salinización.

Al igual que la mayor parte del área metropolitana de Guadalajara, ambos sitios se ubican dentro de una amplia área con un clima caracterizado como semicálido subhúmedo del grupo de los templados con fórmula climática $[A(C)w_0(w)]^5$ lo que la define como una región con:

4 Una descripción más detallada de las características climáticas y meteorológicas del Polígono 2 puede consultarse en el artículo titulado *Monitoreo de variables ambientales*, Cajititlán Jalisco, México.

5 Dentro del Sistema de Clasificación Climática de Köppen con las adaptaciones y modificaciones propuestas por Enriqueta García se establecen combinaciones de letras mayúsculas y minúsculas, donde algunas de ellas pueden estar entre paréntesis, llevar un apóstrofe y/o un número (como subíndice) que, en conjunto expresan describen y denominan el clima de un área. Se forma con los símbolos del grupo, subgrupo, tipo y subtipo.

- Una temperatura media del mes más frío mayor de 18 grados Celsius (°C).
- Una temperatura media anual de entre 18°C y 22°C.
- Un régimen de lluvias de verano, siendo escasas el resto del año, particularmente en el invierno, cuando alcanzan menos del 5 por ciento.
- Un grado de humedad⁶ menor de 43.2.

4.1 Polígono 1: una posible lucha entre dos fuerzas naturales

Las Inhumaciones en el Polígono 1 tuvieron lugar el último día de mayo de 2023, mes que se caracteriza por presentar condiciones históricas de altas presiones que elevan las temperaturas y lo convierten en el más cálido del año para la región.

La temperatura media mensual que se presentó en éste durante el año transcurrido desde el inicio de las actividades experimentales fluctuó entre los 18 y los 25 grados centígrados; mientras que la precipitación promedio fue de 50.63 mm.

La lluvia en Jalisco durante mayo suele ser baja; presentándose algunos episodios de lluvia dispersa que derivan en valores medios mensuales de caída de agua rondan los 20 mm, pero a partir de entonces, los valores históricos indican la presencia de precipitaciones intensas durante, al menos los tres meses subsecuentes.

No obstante, sin aparente relación entre la vigencia de la estación húmeda o la seca ni con los niveles de infiltración o recarga del acuífero ubicado en el subsuelo del sitio, durante algunos de los muestreos hechos en el Polígono 1 se detectó la existencia de al menos seis fosas en condiciones de saturación, es decir, altos niveles de agua ocupando los espacios porosos del subsuelo. Éstas pueden identificarse en la Figura 1, tratándose de las ubicadas en las tres filas de inferiores que presentan puntos con tonalidades ocre.

6 Magnitud que en el Sistema de Clasificación Climática de Köppen se obtiene del cociente de la precipitación entre la temperatura.

Sentir el viento y mirar al cielo para encontrarte en tierra:

La lectura de condiciones climato-meteorológicas y de otros aspectos naturales como herramienta para la búsqueda en campo y la identificación de personas desaparecidas

Figura 1. Fotografía aérea del Polígono 1 donde se aprecian marcas del terreno coincidentes con las fosas que han presentado condiciones de saturación



Fuente: Dirección de Análisis y Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.

Mediante un análisis geoespacial es posible detectar señales en el terreno que permiten inferir la existencia de flujos hidrológicos subterráneos que conectan los cuerpos de agua en medio de los cuales se encuentra el polígono referido, mismos que presentan condiciones de degradación ambiental.

El estudio “*El deterioro de los cuerpos de agua en Jalisco y los posibles riesgos en la salud: El caso de la presa las Rucias en el municipio de Tonalá*” (Morales-Amaya et al., 2016) demostró la presencia en dichas aguas de cromo (Cr), mercurio (Hg), níquel (Ni), cobre (Cu), plomo (Pb), cadmio (Cd) y arsénico (As). Estos últimos tres se detectaron en niveles iguales o superiores a los límites máximos permisibles establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas

NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-002-SEMANART-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997 referentes al grado de contaminantes en descargas de aguas residuales establecidos.

Es dentro de este contexto que, a continuación, se exponen algunos planteamientos correlacionales que, según sostiene la literatura existente, pueden originarse en función de los niveles de polución descritos.

Tabla 2. Niveles de metales pesados detectados en la presa “Las Rucias” en Tonalá, Jalisco

Compuesto químico	Límites de contaminantes permisibles NOM (mg/L)	Número de muestreo	Valores encontrados (mg/L)
Plomo (Pb)	0.5 a 1.0	1	4.0
		2	11.0
		3	9.0
		4	8.0
Cadmio (Cd)	0.2 a 0.4	1	1.0
		2	4.0
		3	2.0
		4	2.0
Arsénico (As)	0.2 a 0.4	1	0.5
		2	0.5
		3	0.4
		4	0.4

Fuente: Dirección de Análisis y Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco con información de Morales-Amaya et al. (2016).

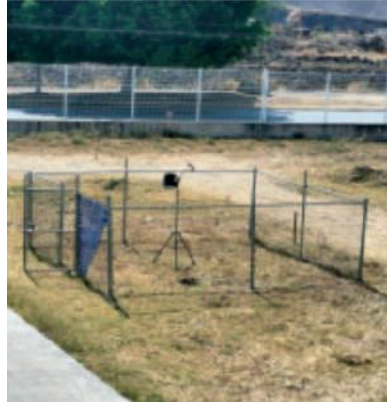
4.2 Polígono 2: Abismalmente opuestos estando (casi) juntos

En el Polígono 2 el valor medio mensual de la temperatura para el periodo comprendido entre agosto de 2023 y marzo de 2024 osciló entre 17 y 23 grados centígrados. Respecto a la precipitación pluvial, se tuvo un promedio mensual de 40.6 milímetros.

En conformidad con el temporal de lluvias, el registro más alto se obtuvo en el mes de agosto de 2023 con una precipitación total de 614,8 mm. Se cuenta con registros de 12 días con precipitación pluvial en septiembre de 2023 y de 15 días durante el mes de octubre del mismo año. No se observaron registros de precipitación en el resto de los meses del período observado. Estos datos meteorológicos fueron recolectados a partir de la base de datos de la estación automática de la Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara [coordenadas geográficas Latitud 20°26'25.73" Norte, Longitud: 103°18'29.8" Oeste (20.44048 Norte, 103.30828 Oeste)], misma que ostenta las siguientes características:

- Marca: Davis Instrument.
- Modelo: Pro 6162.
- Sensores: temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, presión, radiación solar y UV.
- Altitud: 1mil 559 m s. n. m.
- Altura sobre el terreno del sensor temperatura y humedad: Dos metros.
- Altura sobre el terreno del anemómetro 2.50 metros.
- Tipo de suelo 0 -100 m: nivelado, césped.
- Tipo de suelo 100 m - 1 km: semiurbano.
- Tipo de suelo 1 km - 10 km: urbano, semiurbano. áreas urbanas descubiertas.
- Tipo y condiciones de vegetación: suelo natural cubierto con hierba y césped nativo.
- Descripción de la topografía y entorno local: terrenos baldíos en los alrededores. Área urbana localizada a 1 km al norte de la estación.
- Dirección de los vientos dominantes: oeste-suroeste.

Figura 2. Estación climatológica marca Davis Instrument, modelo Pro 6162, ubicada en la Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara



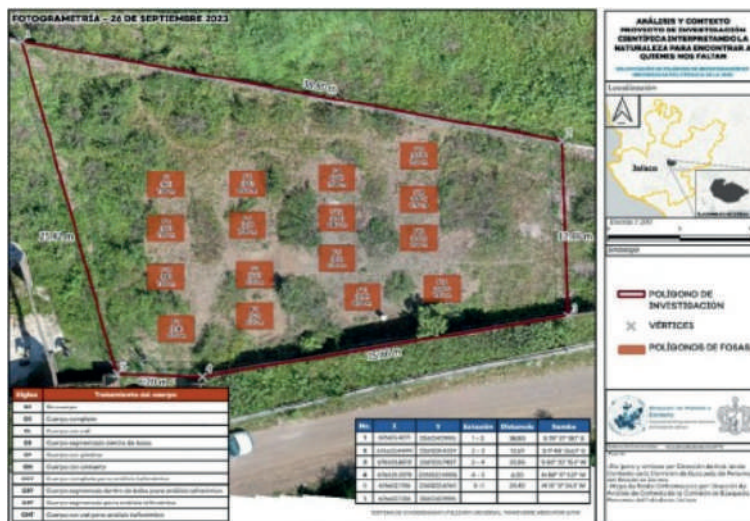
Fuente: Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara.

A finales de abril de 2024, tras poco más de siete meses de haber sido hechas las inhumaciones, se extrajo el contenido de dos de las fosas, identificadas con los números 14 y 16 en la Figura 3.

Sentir el viento y mirar al cielo para encontrarte en tierra:

La lectura de condiciones climato-meteorológicas y de otros aspectos naturales como herramienta para la búsqueda en campo y la identificación de personas desaparecidas

Figura 3. Distribución de las fosas en el Polígono 2



Fuente: Dirección de Análisis y Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.

Los cuerpos de los animales fueron recuperados en condiciones de descomposición notoriamente discrepantes; mientras que el que fue dispuesto dentro de una bolsa plástica fue recuperado en notorias condiciones de descomposición, pero con una amplia cantidad de tejido, del que fue colocado con cal se recuperó una cantidad ínfima de éste y tan solo unos pocos fragmentos de material óseo de pequeñas dimensiones. Un hecho que llamó particularmente la atención fue la presencia, en la fosa 16, de una gran cantidad de agua.

Figura 4. Condiciones en las que se encontró la fosa 16 del Polígono 2 durante las exhumaciones realizadas el 30 de abril de 2024



Fuente: Dirección de Análisis y Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.

Sentir el viento y mirar al cielo para encontrarte en tierra:

La lectura de condiciones climato-meteorológicas y de otros aspectos naturales como herramienta para la búsqueda en campo y la identificación de personas desaparecidas

Figura 5. Comparativa del estado en el que fueron recuperados los cuerpos en las exhumaciones realizadas en el Polígono 2 el 30 de abril de 2024.

A) (Izquierda) El cerdo inhumado dentro de una bolsa plástica

B) (Derecha) El inhumado con cobertura de cal



Fuente: Dirección de Análisis y Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.

La existencia de esta cavidad acuosa, abre la puerta a que una situación análoga a la planteada para el Polígono 1 podría llegar a ocurrir en su par, puesto que también tiene una localización cercana a canales visiblemente contaminados y a un cuerpo de agua, la laguna de Cajititlán, con condiciones que podrían resultar desfavorables para la preservación de restos orgánicos y de las moléculas que posibilitan la identificación genética de personas desaparecidas. Cabe acotar que el flujo de las aguas determina su paso por el sitio de experimentación antes de desembocar en la laguna.

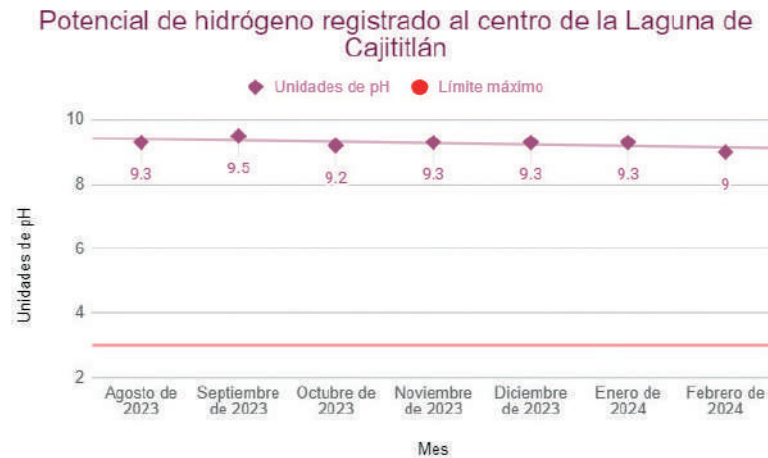
De nueva cuenta, se insiste en que se exponen premisas de corte teórico susceptibles de tener lugar, mas no de hechos factuales empíricamente comprobados a la fecha.

Los aspectos de interés presentes en la laguna de Cajititlán, los cuales se basan en el monitoreo realizado por el Gobierno de Jalisco mediante su Sistema de Calidad del

Agua, incluyen mediciones de pH que denotan un estado de acidez continuo, así como la concentraciones de mercurio que sobrepasan los límites estipulados en las normativas sobre descargas industriales.

Sobre los valores del pH y, la Comisión Internacional de Personas Desaparecidas (2022) también establece que la existencia de valores neutros o apenas alcalinos en escenas de fosas clandestinas “favorece la preservación del ADN; sin embargo, una disminución paulatina del pH provoca la degradación de la hidroxiapatita de los huesos o dientes”.

Figura 6 Niveles de pH presentes en el centro de la Laguna de Cajititlán en el periodo de agosto de 2023 a febrero de 2024

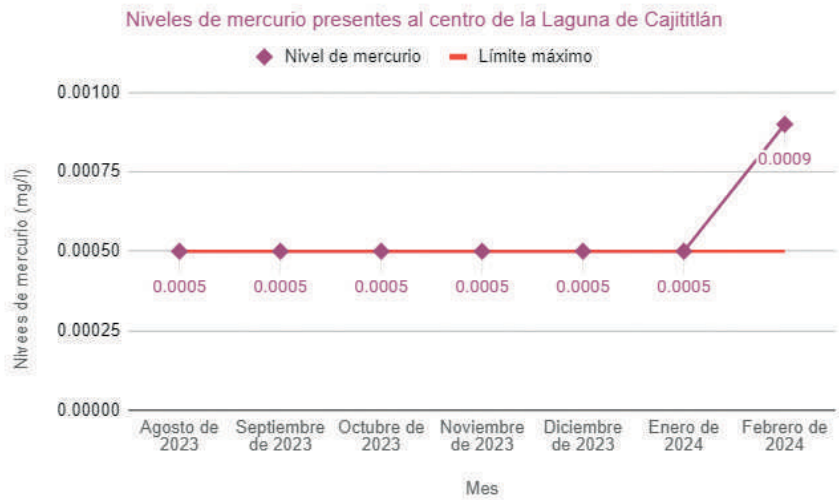


Fuente: elaboración propia con datos del Sistema de Calidad del Agua del Gobierno de Jalisco.

Sentir el viento y mirar al cielo para encontrarte en tierra:
La lectura de condiciones climato-meteorológicas y de otros aspectos naturales como herramienta para la búsqueda en campo y la identificación de personas desaparecidas

En tanto, algunos estudios sugieren que metales pesados como el mercurio también pueden provocar la degradación del ADN (Frías-Espericueta et al., 2022)

Figura 7. Niveles de mercurio presentes en el centro de la Laguna de Cajititlán en el periodo de agosto de 2023 a febrero de 2024



Fuente: elaboración propia con datos del Sistema de Calidad del Agua del Gobierno de Jalisco.

5. Compartir la tierra, ¿compartirlo todo?: similitudes del entorno entre los Polígonos 1 y 2 y el resto del estado

Como ha quedado de manifiesto, a lo largo de este capítulo se consideraron algunos aspectos del entorno ambiental que fungen como variables independientes respecto a variables dependientes como el estado de los suelos en determinado momento, el grado de conservación de los cuerpos o restos humanos y la preservación o degradación del ADN presente en ellos. Éstas son:

- El tipo de clima existente, acorde al Sistema Köppen con las adaptaciones y modificaciones propuestas por Enriqueta García, y sus rangos asociados de magnitudes meteorológicas.
- El tipo de suelo existente, acorde al Sistema de Clasificación World Reference Base for Soil Resources (WRB).
- La presencia y calidad de cuerpos de agua cercanos.

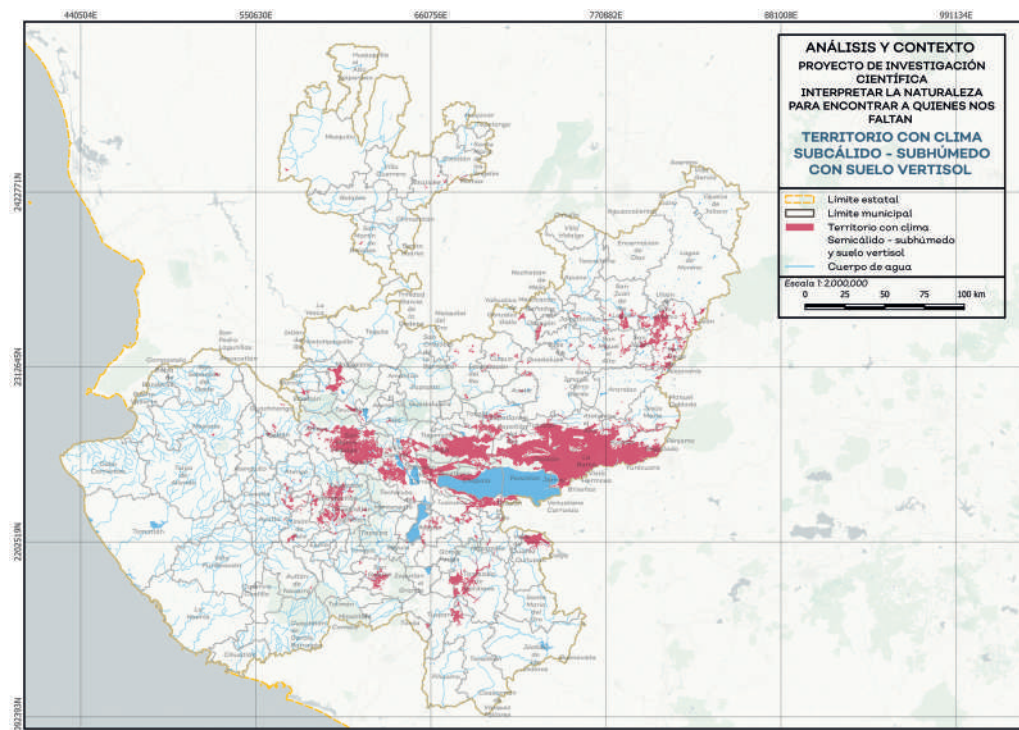
De los 80 mil 222 kilómetros cuadrados que componen el territorio de Jalisco (IIEG, 2024), 5 mil 886.60 de ellos (el 7.70 por ciento del estado) comparten las mismas características presentes en los Polígonos 1 y 2. Como se observa en la Figura 10, estos se extienden mayormente por las regiones Ciénega y Valles del estado, así como amplias zonas del sur y el oriente del área metropolitana de Guadalajara.



Sentir el viento y mirar al cielo para encontrarte en tierra:

La lectura de condiciones climato-meteorológicas y de otros aspectos naturales como herramienta para la búsqueda en campo y la identificación de personas desaparecidas

Figura 8. Mapa de Jalisco y sus cuerpos de agua con identificación de territorios coincidentes con las características de clasificación climática y de taxonomía de suelos presentes en los sitios de experimentación



Fuente: elaboración de la Dirección de Análisis y Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco, con datos de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), el Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco (IIEG) y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Este paralelismo implica que algunos planteamientos hechos que ciñen su validez a las características particulares de los Polígonos 1 y 2, como es el caso de los cambios en la estructura de los suelos en función de las condiciones de humedad propiciadas por la temporalidad de las lluvias, son susceptibles de extrapolarse específicamente a estos sitios; no obstante, a grandes rasgos la mayoría de las proposiciones pueden adaptarse para una aplicación más general.

A modo de ejemplo puede mencionarse que, en el caso de regiones con clima tipo cálido subhúmedo, el segundo con mayor presencia en la entidad (ver Figura 10), abarcando prácticamente la totalidad de la costa jalisciense, la principal diferencia con las condiciones de los sitios de experimentación radicaría en la presencia de una temperatura media anual más alta, siendo por regla general mayor de 22 °C, lo que para los propósitos identificación genética, implicaría una carrera más apretada contra el reloj.

Figura 9. Superficie del estado de Jalisco por tipo o subtipo de clima y régimen de lluvia

Tipo o subtipo, régimen de lluvia	Clave	Total
Cálido subhúmedo con lluvia de verano	A(w)	100.00
Semicálido subhúmedo con lluvia de verano	ACw	23.11
Templado subhúmedo con lluvia de verano	C(w)	44.66
Semiseco muy cálido y cálido con lluvia de verano	BS1(h')	18.61
Semiseco semicálido con lluvia de verano	BS1h	3.64
Semiseco templado con lluvia de verano	BS1k	5.56
		4.42

Fuente: Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta de Climas. INEGI.

Al final, dentro de un entramado de relaciones aparentemente sin fin entre fenómenos naturales y actividades humanas, siempre habrá tantos granos en la arcilla como nubes en el cielo y tantas maneras de interpretar la naturaleza como posibilidades de que un viento a favor permita un encuentro que termine con la búsqueda.

Conclusiones

- El contar con la mayor cantidad de información posible sobre factores propios del entorno natural como las condiciones climato-meteorológicas de la zona, sus particularidades hidrológicas, la taxonomía de los suelos predominantes, los compuestos químicos presentes en éstos y en cuerpos de agua cercanos y los niveles de acidez o alcalinidad del terreno se configura como una herramienta útil para lograr despliegues óptimos durante acciones de búsqueda y localización *post mortem* de personas desaparecidas y para alcanzar una mayor eficiencia de las innovaciones tecnológicas tendientes a facilitar estas labores que se encuentran en desarrollo.
- Mediciones de fenómenos meteorológicos como la temperatura media, los niveles de precipitación y la humedad relativa pueden ser usados para estimar el estado de plasticidad o contracción de los suelos y su facilidad o dificultad asociada para cavar en ellos.
- Estos mismos aspectos meteorológicos, además de la composición de los suelos y sus valores de pH, impactan en los procesos de conservación o descomposición de cuerpos y restos humanos y del material genético presente en ellos (indispensable para los procesos de identificación genética; siendo las temperaturas altas una de las condiciones más desfavorables que puede presentarse dentro de este entramado de relaciones.
- Resulta necesario considerar la existencia de cuerpos de agua cercanos a lugares de inhumaciones y el estado de conservación de los mismos, haciendo particular énfasis en la presencia de valores de pH fuera de norma o de contaminantes como metales pesados.
- Las exhumaciones que se realicen en un futuro en los sitios de experimentación brindarán una oportunidad poco frecuente para ahondar en líneas de investigación como los niveles de presencia en suelos de metales pesados como el arsénico, el cadmio, el mercurio y el plomo, y su potencial para degradar el ADN necesario para realizar procedimientos efectivos de identificación humana.

- En sentido contrario, las mismas exhumaciones permitirían analizar la capacidad de protección del material genético requerido para procesos de identificación brindado por minerales como la montmorillonita y la caolinita, de presencia frecuente en las unidades de suelo tipo Vertisol.
- Climas de alta prevalencia en el territorio jalisciense, como el cálido subhúmedo y el semicálido subhúmedo son poco favorables para la ralentización de los procesos de descomposición orgánica y la óptima conservación de material genético.
- El 7.70 por ciento del territorio de Jalisco, equivalente a 5 mil 886.60 kilómetros cuadrados, comparte las mismas condiciones de clasificación climática y taxonomía de suelos que los presentes en los sitios de experimentación Polígono 1 y Polígono 2, por lo que algunos aspectos de su entorno natural pueden extrapolarse.

En resumen, en los párrafos anteriores encontramos la importancia de las caracterizaciones de polígonos con base en humedad, pH y temperatura como un área de oportunidad que puede ayudar a eficientar los procesos de búsqueda de personas desaparecidas. Hacer este tipo de ejercicios, también, ayuda a mapear los polígonos prioritarios para la búsqueda y tener referencias de mediciones a lo largo del tiempo, lo cual, a su vez, permitirá contar con datos más precisos sobre el estado de conservación de ADN que se pueden encontrar en el territorio a intervenir. Todo esto esperando que la ciencia, la teoría y los datos sirvan para dar un poco de certeza a la búsqueda.



Referencias

- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. (2015). *Public Health Statement for Arsenic* <https://wwwn.cdc.gov/TSP/PHS/PHS.aspx?phsid=18&toxid=3>
- CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA. (s.f.). *Dirección de metrología de fuerza y presión*. Consultado el 30 de mayo de 2024. Disponible en: <https://www.cenam.mx/FYP/Atraccion/magnitud6.aspx#/FYP/Principal/Principal.aspx/Divisi%C3%B3n%20de%20Metrolog%C3%ADa%20de%20Fuerza%20y%20Presi%C3%B3n>
- COMISIÓN INTERNACIONAL SOBRE PERSONAS DESAPARECIDAS. (2022). *Programa de capacitación y mentoría en identificación humana con la Fiscalía General de la República. Manual sobre Métodos de Extracción de ADN de Restos Óseos Humanos No Identificados*. <https://www.icmp.int/wp-content/uploads/2022/08/Handbook-Mexico.pdf>
- DIRECCIÓN DE ANÁLISIS Y CONTEXTO DE LA COMISIÓN DE BÚSQUEDA DE PERSONAS DEL ESTADO DE JALISCO. (2024). *Parámetros de polígonos de experimentación*. [Base de datos]. (Material no publicado).
- DIRECCIÓN DE ANÁLISIS Y CONTEXTO DE LA COMISIÓN DE BÚSQUEDA DE PERSONAS DEL ESTADO DE JALISCO. (2024b). *Matriz ambiental de Cajititlán*. [Base de datos]. (Material no publicado).
- DIRECCIÓN DE ANÁLISIS Y CONTEXTO DE LA COMISIÓN DE BÚSQUEDA DE PERSONAS DEL ESTADO DE JALISCO. (2024c). *Matriz ambiental de Tonalá*. [Base de datos]. (Material no publicado).
- FRÍAS-ESPIRICUETA, M., AGUILAR-JUÁREZ, M., ROSS-MUÑOZ, S., OSUNA-MARTÍNEZ, C., DELGADO-ÁLVAREZ, C., BOJÓRQUEZ, C., BAUTISTA-COVARRUBIAS, J., OSUNA-LÓPEZ, I. & NIEVES-SOTO, M. (2022). *El mercurio y su efecto en el material genético*. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 30(86), mayo-agosto 2022, e3437 -Revisiones Científicas.
- GONZÁLEZ-TORRES, M. C., BETANCOURT-RULE, M., & ORTIZ-MUÑIZ, R. (2000). *Daño Oxidativo y Antioxidantes*. Bioquímica, 25(1), 3-9.
- INSTITUTO DE ASTRONOMÍA Y METEOROLOGÍA. (s.f.). *Perspectiva meteorológica para Jalisco de septiembre 2023*. <http://iam.cucei.udg.mx/noticia/perspectiva-meteorologica-para-jalisco-de-septiembre-2023>
- INSTITUTO DE ASTRONOMÍA Y METEOROLOGÍA. (s.f.). *Perspectiva meteorológica de Jalisco para mayo 2024*. <http://iam.cucei.udg.mx/noticia/perspectiva-meteorologica-de-jalisco-para-mayo-2024>



- INSTITUTO DE INFORMACIÓN ESTADÍSTICA Y GEOGRÁFICA DE JALISCO. (2021). *Edafología*. https://iieg.gob.mx/ns/?page_id=1227
- INSTITUTO DE INFORMACIÓN ESTADÍSTICA Y GEOGRÁFICA DE JALISCO. (2023a). *Tlajomulco de Zúñiga*. Diagnostico municipal. Agosto 2023. <https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2023/08/Tlajomulco-de-Z%C3%BA%C3%B1iga.pdf>
- INSTITUTO DE INFORMACIÓN ESTADÍSTICA Y GEOGRÁFICA DE JALISCO. (2023b). *Tonalá*. Diagnostico municipal. Agosto 2023. <https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2023/08/Tonal%C3%A1.pdf>
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA. (2021). *Aspectos geográficos*. Jalisco. https://en.www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_14.pdf
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA. (2021b). *Diccionario de datos de climas*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825199258.pdf
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA. (s.f.). *Espacio y datos de México* [Mapa online]. 1:10.000. Consultado el 21 de mayo de 2024. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espaciodydatos/default.aspx>
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA. (2005). *Guía para la interpretación de cartografía. Climatológica*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1329/702825231781/702825231781_1.pdf
- MARTÍN, F. (2018, 10 de diciembre). *El radical hidroxilo (OH) se recicla en la atmósfera*. *Meteored*. <https://www.tiempo.com/ram/486041/el-radical-hidroxilo-oh-se-recicla-en-la-atmosfera/>
- MORALES-AMAYA, C., GARIBAY-ALONSO, R., GUZMÁN C. & ASTUDILLO-SÁNCHEZ, P. (2016). *El deterioro de los cuerpos de agua en Jalisco y los posibles riesgos en la salud: El caso de la presa las Rucias en el municipio de Tonalá*. *Revista Acta de Ciencia en Salud*, 2016; 1(1): p. 33-36.
- ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. (2017). *Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre el cálculo de las normales climáticas*. https://library.wmo.int/viewer/60338?medianame=1203_es_#page=1&viewer=picture&o=bookmark&n=0&q=

- SÁNCHEZ, J. (Coord.). *Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad: 70 años de pensamiento de la CEPAL*. Libros de la CEPAL, N° 158 (LC/PUB.2019/18-P), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2019.
- SISTEMA INTERMUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO. (2014). *Criterios y lineamientos técnicos para factibilidades. Infiltración pluvial*. https://siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo_5_infiltracion_pluvial.pdf
- SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA DE LA GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. (2024). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Cajititlán (1403)*, Estado de Jalisco. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/jalisco/DR_1403.pdf
- SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA DE LA GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. (2024). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Toluquilla (1402)*, Estado de Jalisco. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/jalisco/DR_1402.pdf
- ZOTARELLI, L., DUKES, D. & MORGAN, T. (2010). *Interpretation of Soil Moisture Content to Determine Soil FieldCapacity and Avoid Over-Irrigating Sandy Soils Using Soil Moisture Sensors: AE460/AE460*, 2/2010. EDIS. University of Florida.

Geofísica



