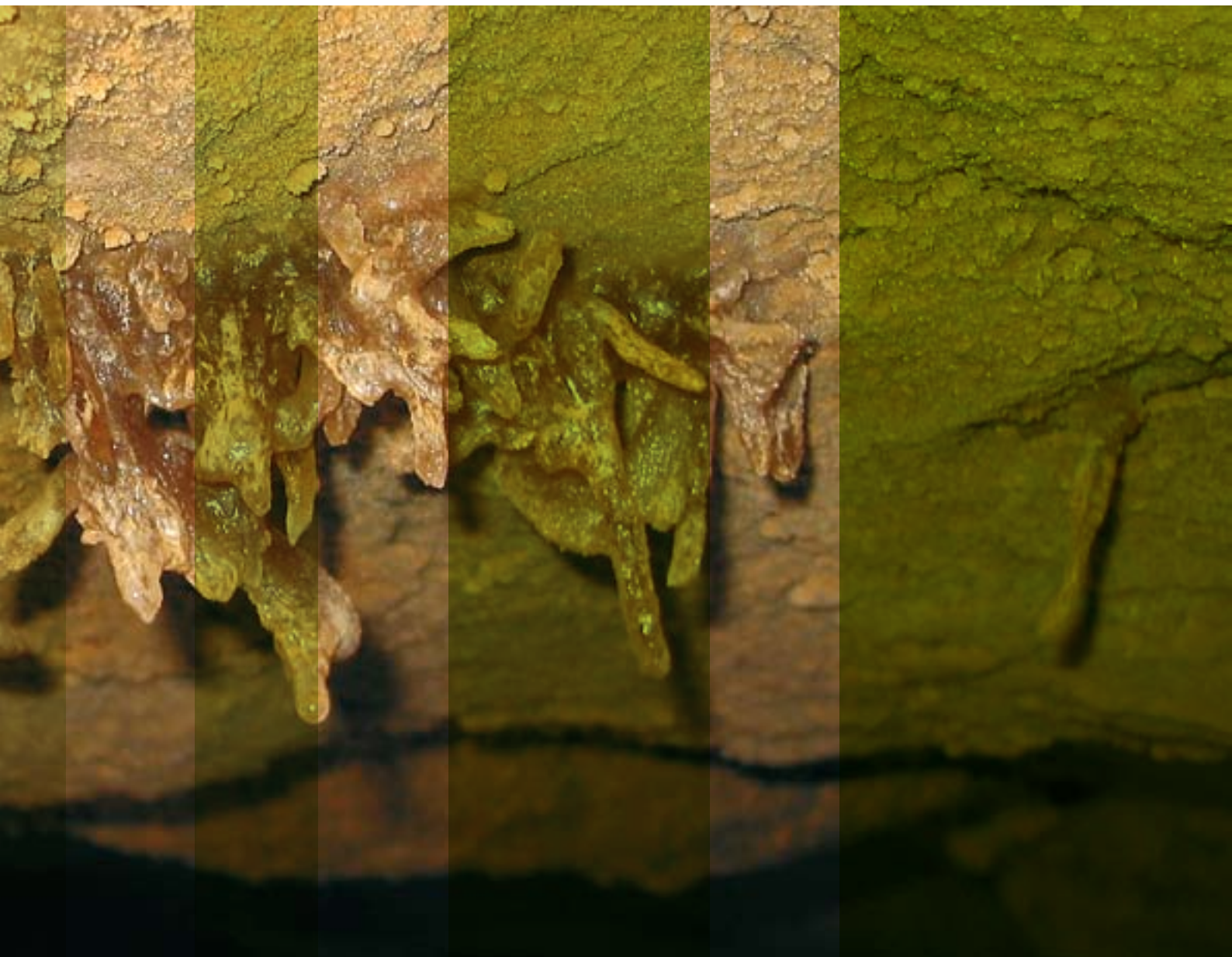


climática



3



Tres años de estudios microclimáticos en la cueva de Mendukilo

Vladimir Otero Collazo* - vlado6208@yahoo.es

Jabier Les Ortiz de Pinedo* - jabierles@sociedadalfonsoantxia.org

Rakel Malanda Ruiz* - rakelcvmate@yahoo.es

* Sociedad de Ciencias Espeleológicas Alfonso Antxia.

3 climática

Resumen

Tres años de mediciones de las principales variables climáticas, han confirmado que el régimen de visitas impuesto en la cueva de Mendukilo y el sistema de luces coordinados con el recorrido, no alteran desde el punto de vista térmico la atmósfera subterránea. La concentración de CO₂, que resulta afectada por la presencia humana, no se acerca al límite fijado en la bibliografía de 2400 ppm, con resultados máximos de 1500 a 1600 ppm.

Variaciones en el gradiente de la presión atmosférica, confirman la complejidad del intercambio de masa y energía del sistema subterráneo con el exterior, la interrelación entre todos los sectores y la presencia de una circulación en tubo de viento en la dirección Entrada – Herensugea – Guerrero, en saco de aire en el sector Laminosin y una mezcla de ambas en la Entrada con el exterior.

Palabras clave

Atmósfera, régimen de visitas, sistemas subterráneos, variables climáticas.

Introducción

La cueva Mendukilo ha sufrido diversas modificaciones

en la sala de la Entrada en diferentes momentos, dependiendo del uso o protección que se le pretendía dar.



Figura 1. Muro de piedra que cerraba la entrada de la cueva Mendukilo. Se aprecia la limitación del área de intercambio entre la atmósfera de la cueva y el exterior.

1. irudia. Mendukiloko leizearen sarrera ixten zuen harrizko hesia. Leizeko eguratsaren eta kanpoaldearen arteko truke gunearen murrizketa ikus daiteke.

Utilizada como establo natural, una barrera se levantaba en la galería que conecta con el resto de la cavidad, por su gran inclinación, para evitar la pérdida de animales.

Solo quedaba una pequeña abertura en la parte superior, por donde circulaba el aire de la cueva.

Posteriormente, como forma de protección para evi-

Abstract

After three years monitoring in Mendukilo cave, data have confirmed that there is no alteration in the thermal environment of the cave caused by the visits and the light system. CO₂ concentration caused by the human presence is under the limits recommended in the literature (2400 ppm) with peaks in the 1500 -1600 ppm range.

Variations in atmospheric pressure gradient confirm the complexity in the mass and energy exchange between underground system and the surface, the interrelationship among all sectors and the wind tube circulation in the Entrance-Herensugea-Gerro direction, wind sac in the Laminosin sector and a mix between the entrance and the surface

Keywords

Aralar, CEN, Jurassic, Hydrogeology Unit, Urgonian, spring, underground patrimony.

Laburpena

Hiru urtez egindako aldagai klimatiko nagusien neurketek egiaztatu dutenez, Mendukilo leizeko bisiten erregimenak eta ibilbidearekin bat datorren argi sistemak ez du aldatzen, ikuspuntu termikotik, lurrazpiko eguratsa. CO₂ren kontzentrazioa, giza presentziaren eraginez aldatzen dena, ez da hurbiltzen bibliografian finkatutako 2400 ppm-ko mugara, eta 1500-1600 ppm bitarteko emaitzak dauzka.

tar la entrada indiscriminada de personas, que pudieran destruir el patrimonio subterráneo, se levantó un



Figura 2. Entrada actual de la cueva Mendukilo. En la foto se aprecia la reja con barrotes horizontales, diseñados para el paso de los quirópteros.

2. irudia. Mendukiloko leizearen oraingo sarrera. Argazkian burdinsarea ikus dezakegu barra horizontalekin, kiropteroak igarotzeko diseinatuta.

muro en la entrada de la cueva, hecho de piedras. Esta construcción limitó aun más el intercambio de masa y energía del medio hipogeo con la atmósfera exterior (figura 1).

En el año 2005 se realizaron las labores de adecuación de la cueva al turismo, optándose por la política del menor daño al entorno subterráneo y de forma que, en caso de terminar la explotación, devolver las condiciones iniciales a la cavidad. La explotación comenzó en julio del propio año (Agirre 2008).

Un sistema de iluminación sincronizado con el paso de los visitantes, la entradas de pequeños grupos de personas, la colocación de una reja en toda la amplitud de la boca, son medidas establecidas para ocasionar el menor impacto a la cueva.

Materiales y Métodos

Para el estudio del microclima de la cavidad se colocaron cuatro estaciones climáticas, tres en el interior de la cueva y una en el exterior, junto al edificio, compuestas por datalogers Opus 200 y sondas de alta precisión. En todas las estaciones se miden temperatura del aire, humedad relativa, presión atmosférica y concentración de CO₂. Se agregó, a partir de julio de 2007, un anemómetro ultrasónico para la determinación de la velocidad y

Estación	T	Hr	P	CO ₂	T _a	T _r	Pluvio	V _a
Exterior	X	X	X	X			X	
Entrada	X	X	X	X				
Galería de Acceso								X
Laminosin	X	X	X	X	X	X	X	
Herensugea	X	X	X	X				

Tabla 1. Variables monitoreadas en las diferentes estaciones de la cueva y el exterior. T: Temperatura del aire en °C, Hr: Humedad relativa en %, P: Presión atmosférica en hPa, CO₂ en ppm, T_a: Temperatura del agua en °C y T_r: Temperatura de la roca en °C, Pluvio: Goteo en la estación interior, llluvias en la estación del exterior en litros /m² y V_a: Velocidad del aire en km/h.

1. taula. Leizeko eta kanpoko estazioetan monitorizatutako aldagaiak. T: Airearen temperatura °C-tan, Hr: Hezetasun erlatiboa %tan, P: Presio atmosferikoa hPa-tan, CO₂ ppm-tan, T_a: Uraren temperatura °C-tan eta T_r: Hartzaren temperatura °C-tan, Plubio: tantak barne estazioan, euria kanpoko estazioan litro /m²-tan eta V_a: Airearen abiadura km/h-tan.

Presio atmosferikoko gradienteko aldaketek baieztatu egiten dute lurpeko sistemaren masa eta energia kanpoaldearekin trukatzaren konplexutasuna, sektore guztien arteko elkarre-ragina eta tutu moduko haize-zirkulazioaren presentzia Sarrera – Herensugea – Gerlaria norabidean, aire-zaku moduan Laminosingo sektorean eta bien eta kanpoaldekoaren arteko nahasketa Sarreran.

Sarrera

Mendukiloko leizeak, erabili edo babestu nahi izan den moduaren arabera, zenbait aldaketa izan ditu Sarrerako gelan une ezberdinetan.

Ukuilu natural gisa erabilia, kobazuloaren sarrera gainerakoarekin lotzen duen inklinazio handiko galerian, hesia zegoen animaliak gal ez zitezen. Goiko aldeko irekiune txiki bat besterik

ez zen geratzen, eta handik zebilen kobazuloa airea. Gerago, lurpeko ondarea suntsi zazakeen jendea nolana-hi sar ez zedin, babes gisa, harrizko hesi bat eraiki zen leizearen sarreran. Eraikuntza horrek are gehiago mugatu zuen lurpeko ingurune eta kanpoko eguratsen arteko masa eta energia trukea (1. irudia).

2005. urtean, leizea turismora egokitzeko lanak egin ziren. Lurpeko inguruneari ahalik eta kalterik txikiena egiteko politika hautatu zen, halako molde non, ustiapena amaitzekotan, kobazuloa hasierako egoerara itzuliko baitzen. Ustiapena urte horretako uztailean hasi zen (Agirre 2008)

Bisitariak igarotzearekin sinkronizatutako argiztapen sistema, talde txikiak sartzea, ahoaren zabalera guztian burdinsarea ezartzea, leizean ahalik eta inpakturik txikiena eragiteko hartutako neurriak dira.

3 climática

dirección del aire en la galería de Acceso. En la Tabla I se muestran las variables medidas por estaciones.

El monitoreo está programado para un régimen de medición horario durante las 24 horas del día, en todo el año. El número de visitas diarias así como el horario de entrada fue reportado por los guías de la cueva.

Partiendo de los datos obtenidos, se han confeccionado las series temporales de cada una de las variables, para conocer su comportamiento en el tiempo, realizándose comparaciones en el comportamiento entre los diferentes parámetros medidos.



Figura 3. Localización de las estaciones de mediciones en la cueva y en el exterior. La estación Edificio está ubicada fuera de escala.

3. irudia. Neurketa estazioen kokapena leizean eta kanpoan. Eraikin estazioa eskalatik kanpo dago kokatuta.

Como complemento necesario se han calculado algunos índices estadísticos como el promedio anual, desviación estándar, coeficiente de variación, valores máximos y mínimos y el rango de variación de cada parámetro medido.

Para los cálculos termodinámicos se utiliza el algoritmo Clima (Otero 1990,1992), determinándose los valores de: humedad absoluta o específica, presión saturante de vapor, presión de vapor, temperatura de rocío, temperatura equivalente, temperatura virtual, temperatura potencial, entalpía, entropía, trabajo de expansión, calor cedido o absorbido por el sistema, densidad del aire y la presión parcial de CO₂.

Descripción de la cueva

La cueva presenta, al menos, cuatro niveles de cavernamiento que se comunican por los sectores donde la superposición de las salas o galerías ha favorecido la ocurrencia de procesos clásicos, generados como resultados de la interacción del agua con la roca, donde se han producido procesos de erosión y corrosión de la matriz rocosa original.

La entrada de la cueva representa una antigua captura pluvial, sirviendo de sumidero a las aguas caídas en la cercanía, favoreciendo la formación de un cauce subterráneo organizado.

El agrietamiento del macizo, en la zona donde se desarrolla la cueva, favorece la entrada del agua en diferentes sectores, llegando a mezclarse en el interior con

Gako hitzak

aldagai klimatikoak, bisiten erregimenak, lurpeko atmosfera eta sistemak

Materialak eta metodoak

Leizeko mikroklima aztertzeko, lau estazio klimatiko ezarri ziren, hiru kobazuloaren barnean eta bat kanpoan, erai-kinaren ondoan, Opus 200 dataloger-ek eta doitasun handiko zundek osatuak. Estazio guztietan, airearen temperatura, hezetasun erlatiboa, presio atmosferikoa eta CO₂ren kontzentrazioa neurtzen dira. 2007ko uz-tailetik aurrera, anemometro ultrasonikoa gehitu zen,

Sarbideko galerian airearen abiadura eta norabidea ze-hazteko. I. taulan, estazioek neurtutako aldagaiak ikus daitezke.

Monitoretza eguneko 24 ordutan eta urte guztian neurt-zeko programatuta dago. Eguneroko bisita kopurua, eta sartzeko ordutegia, leizeko gidariek jakinarazi ziguten. Jasotako datuetan oinarrituta, aldagai bakoitzaren denbora serieak egin dira, denboran izan duten jokabidea ezagut-zeko, eta jokabideak alderatu dira neurtutako parametroen artean.

Beharrezko osagarri gisa, indize estatistiko batzuk kalku-latu ditugu, hala nola urteko batez bestekoa, desbideratze estandarra, aldakuntza koefizientea, gehieneko eta gutxienezko balioak eta neurtutako parametro bakoitzaren aldakuntza heina.

Kalkulu termodinamikoak egiteko, Klima algoritmoa erabil-

diferentes tiempos de residencia y, por tanto, diferentes grados de saturación respecto a la calcita.

La superposición de niveles, junto a los procesos erosivos – disolutivos del agua sobre la roca, favorecieron el desarrollo de los procesos clásticos, los que tuvieron lugar en varios estadios de la formación y desarrollo de la cueva, quedando al menos tres generaciones de clastificación.

Entre los sucesos clásticos tuvo lugar la deposición de calcita como forma secundaria de sedimentación, contribuyendo a enmascarar en unos casos los aglomerados de bloques.

Ambos procesos contribuyen a elevar el nivel original del suelo de la cavidad, como es el caso de la galería por la que se accede, desde la galería de Acceso a la galería Laminosin.

La comunicación entre la sala Herensugea, la sala del Guerrero y la galería del Caballo se realiza entre un caos de bloques, generado por el mecanismo antes explicado de la superposición de niveles. Al no existir un conducto estrecho de roca estructural entre las tres salas, favorece que no se generen corrientes de aire, ya que la circulación de la masa gaseosa tendrá lugar en un área más amplia, es decir, por los espacios que quedan entre los bloques.

La circulación del agua por las grietas en el macizo también ha favorecido el proceso litogénico. Como se

aprecia en los techos de la cavidad, los conjuntos de estalactitas se presentan alineados en estas discontinuidades de la matriz rocosa.

Los cambios climáticos del sistema exterior se han reflejado en el interior de la cueva, dando como resultado una superposición de procesos sobre un mismo espeleotema, donde se pueden apreciar procesos de deposición, decalcificación y redisolución.

En la misma cavidad, estos cambios se aprecian también en la morfología de los espeleotemas, donde se aprecia el cambio de condiciones termodinámicas que favorecen en unos casos y en otros que condicionan, un cambio en la dirección del crecimiento de las estalactitas, proceso este que se observa en diferentes puntos, mostrando al menos dos momentos de estos cambios en una misma formación.

Revisión bibliográfica

Sobre la cueva de Mendukilo se realizó con anterioridad un estudio preliminar para determinar la posibilidad de utilizar la cueva con fines turísticos. Durante el mismo se realizaron mediciones climáticas puntuales, referenciadas en la tabla 2. Sólo se midieron la temperatura del aire, la concentración de CO₂ y la velocidad del viento.

En el exterior se tomaron como referencia estaciones climáticas que se encuentran algo alejadas de la cueva, por lo que no se tienen en cuenta en el presente estudio.

tzen da (Otero 1990, 1992), eta balio hauek zehazten dira: hezetasan absolutu edo espezifikoa, lurrun presio saturatzailea, lurrun presioa, ihintza tenperatura, tenperatura balioakidea, tenperatura birtuala, tenperatura potentziala, entalpia, entropia, espantsio lana, sistemak lagatako edo zurgatutako beroa, airearen dentsitatea eta CO₂ren presio partziala.

Leizearen deskribapena

Leizeak, gutxienez, lau maila ditu, gela edo galerien gainjartzeak prozesu klastikoak eragin dituen sektoreetatik komunikatzen direnak. Prozesu horiek uraren eta haitzaren arteko elkarreraginak sortu ditu, non jatorrizko haitzaren higatze eta korrosio prozesuak gertatu diren. Leizearen sarrera euri-atzipen zahar bat da, inguruan botatako uren hobia zena,

eta lurpeko ubidea eratu zuen horrek.

Leizea dagoen zonako mendigunearen arraildurak uraren sarrera bultzatzen du hainbat sektoretan, eta barrualdean hainbat garaitakoekin nahasten dira eta, beraz, kaltzitari dagokionez hainbat saturazio-maila sortzen da.

Mailak gainjartzeak, eta urak haitzean eragindako higatze eta disolbatze prozesuek, prozesu klastikoak bultzatu zituzten, leizearen eraketaren hainbat etapatan gertatu zirenak alegia, eta hiru klastifikatze belaunaldi geratu ziren gutxienez.

Gertakari klastikoen artean, kaltzita gelditu zen jalkitze modu sekundario gisa, eta kasu batzuetan bloke aglomeratuak estaltzen lagundu zuen.

Bi prozesuek kobazuloko zoruaren jatorrizko maila goratzen lagundu dute; hori da Sarrerako galeriaren kasua, Sarbideko galeriatik Laminosin galeriaraino.

Herensugearen gela, Gerlariaren gela eta Zaldiaren galeria-

3

climática

Punto observado	Temp. °C	CO ₂ ppm	Veloc. m/s
Exterior	12,5	295	
Sala entrada	10	312	0,01
Galería de Acceso	9,2	390	0,45
Distribuidor	9,8	447	0,02
Galería de los lagos1	10,4	383	0,04
Galería de los lagos2	9,8	441	0,01
Galería de los lagos3	10,5	411	0,01
Sala sevillana (herensugea)	9,9	401	0,01
Galería del caballo	9,7	402	0,05

Tabla 2. Registro climático realizado por el grupo Félix Ugarte en la cueva.
2. taula. Felix Ugarte taldeak kobazuloan egindako erregistro klimatikoak.

En los resultados de las mediciones realizados con anterioridad por el grupo Félix Ugarte, se aprecia que la diferencia de temperatura entre las diferentes salas, en un régimen natural de circulación del aire en la cueva, no supera los 0,7 °C, sin incluir la sala de la entrada ni el exterior. Llama la atención la Galería de Acceso, donde se registró la mínima temperatura en el muestreo (Ugalde 2004).

La posición espacial de dicho punto, en la intersección entre la sala de la Entrada, la Galería de Laminosin y la sala Herensugea, favorece la mezcla de las masas gaseosas provenientes de los diferentes sectores de la cueva con el aire exterior que circula hacia el interior.

La diferencia de humedad entre las masas gaseosas, la del interior de la cueva y la del exterior, dan lugar al proceso de humidificación del aire, que resulta endotérmico (Eraso 1969), es decir, que para que se produzca necesita tomar calor del medio, de lo que resulta un enfriamiento de la masa resultante, en el caso de referencia la temperatura disminuye en 0,8 °C respecto al salón de la Entrada y 0,6 en relación con la zona de la entrada a la Galería de Acceso, donde se mezcla el aire hipogeo.

Los puntos de medición en el interior de la cueva no se conocen con exactitud, por lo que sólo son tenidos en cuenta como referencia.

Resultados entre los años 2006 – 2008

Comportamiento de la temperatura

Desde el punto de vista climático, la cueva Mendukilo puede dividirse en dos sectores perfectamente diferenciados: la sala Entrada, con una gran influencia de la

ren arteko komunikazioa, lehen azaldutako mailen gainjartzeek eragindako blokeen anabasaren artean egiten da. Hiru gelen artean egiturazko haitzaren bide esturik ez izatean, ez da aire korronterik sortzen; izan ere, airearen zirkulazioa gunee zabalago batean gertatuko da, hau da, blokeen artean geratzen diren espazioetatik.

Ura mendilerroko arrailetatik ibiltzeak ere prozesu litogentikoa bultzatu du. Haitzulorean sabaietan ikus daitekeenez, estalaktiten multzoak haitz oinarriaren etenune horietan lezkatuta ageri dira.

Kanpoko sistemaren aldaketa klimatikoak leizearen barrualdean islatu dira eta, ondorioz, kobazuloko formazio edo espeleotema berean gertatutako prozesuak gainjarri egin dira, eta bertan deposizio, deskalzifikatze eta birdisoluzio prozesuak antzeman daitezke.

Leizean bertan, aldaketa horiek espeleotemen morfologian

ere ikus daitezke, non baldintza termodinamikoaren aldaketa antzeman baitaiteke. Baldintza horiek, kasu batzuetan bultzatu egiten dute eta beste batzuetan baldintzatu egiten dute estalaktiten hazkundearen norabide aldaketa, eta prozesu hori hainbat puntutan ikus dezakegu; gutxienez, aldaketa horien bi une ageri dira eraketa berean.

Berrikuspen bibliografikoa

Mendukiloko leizeari buruz aurretiatzko azterlan bat egin zen, kobazuloa helburu turistikoekin erabiltzeko aukera aztertu ahal izateko. Azterlan horretan, neurketa klimatiko puntualak egin ziren, 2. taulan ageri direnak. Airearen tenperatura, CO₂ren kontzentrazioa eta haizearen abiadura soilik neurtu ziren.

Kanpoan, kobazulotik aldentuta dauden estazio klimatikoak

atmósfera exterior, con un comportamiento térmico similar a ésta y el resto de la cueva, con una mayor estabilidad termodinámica y una cierta inercia a los cambios de temperatura con respecto a la atmósfera epigea (fig. 3 y 4).

El recorrido máximo de los promedios mensuales de temperatura, no supera los 0,7 °C, poniéndose de manifiesto una gran amortiguación de las fluctuaciones térmicas del exterior. Ésta es causada tanto por el efecto refrigerante de la roca, como las diferentes reacciones termodinámicas que tienen lugar en la masa gaseosa hipogea, como el enfriamiento por el humedecimiento

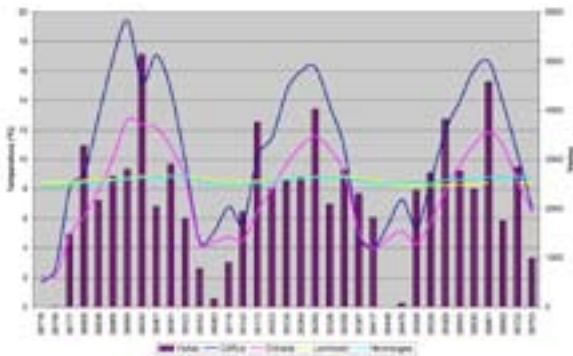


Figura 4. Comportamiento del promedio de temperaturas en las diferentes estaciones en la cueva Mendukilo, en el período 2006 – 2008.

4. irudia. Temperaturren batez bestekoen jokabidea Mendukiloko leizeko hainbat estaziotan, 2006 – 2008 aldian.

del aire, los procesos de litogénesis, la mezcla de gases, el trabajo de expansión que se realiza al pasar de una galería estrecha a las amplias salas, entre otros.

El gran volumen de las salas y la morfología descendente, con salas interconectadas por galerías estrechas, favorecen el desarrollo de un efecto de retardo en el calentamiento del aire subterráneo, apreciándose un desplazamiento de los valores máximos de temperatura hacia los meses de octubre y noviembre, cuando en el exterior y en la sala de Entrada, estos tienen lugar entre los meses de julio a septiembre.

Este fenómeno pudiera ser atribuible a un efecto acumulativo de calor, propiciado por el régimen de visitas. Teniendo en cuenta que, durante los meses de verano es cuando tienen lugar los valores máximos de visitas a la cueva, las sondas se encuentran en la zona inferior de las salas, por lo que el retardo en la medición sería lógico.

El aire, al ser calentado por la masa de visitantes, tiende a ascender, calentando la porción superior de la sala. Este aire más cálido, a su vez va a tener un contenido superior de vapor de agua, expulsada por los humanos. Con el tiempo, esta masa va reaccionando con la zona más baja, incrementando la energía cinética de las moléculas, por un complejo mecanismo de conducción – convección, que favorece la transferencia térmica hacia las capas inferiores.

Al analizar el comportamiento de la temperatura, y su relación con el régimen de visitas, en las estaciones interiores, se insistió en los periodos de Semana Santa y, dentro del verano, en el mes de agosto, por ser el de mayor número de visitantes (Otero et. al. 2008).

hartu ziren erreferentziatzen eta, hortaz, ez dira kontuan hartu azterlan honetan.

Felix Ugarte taldeak lehenago egindako neurketen emaitzetan ikus daitekeenez, gela arteko temperatura aldea, kobazuloan airearen zirkulazioa naturala denean, ez da 0,7 °C baino handiagoa, sarrerako gela eta kanpoaldea kontuan hartu gabe. Deigarria da Sarbideko Galeria, non laginketako tenperaturarik baxuena jaso baitzen (Ugalde 2004).

Sarrerako gela, Laminosin Galeria eta Herensugea gelaren arteko elkargunean dagoen gune horren posizioak, kobazuloko hainbat sektoretako masa gaseosoen eta barrualderantz doan kanpoko airearen arteko nahasketa bultzatzen du. Kobazuloaren barrualdeko eta kanpoaldeko masa gaseosoen arteko hezetan aldea, airea hezatzeko prozesua eragiten du, eta hori endotermikoa da (Eraso 1969), hau da, gerta dadin inguruntetik beroa hartu behar du eta, ondorioz,

emaitzako masa hoztu egiten da. Kasu honetan, tenperaturak 0,8 °C egiten du behera Sarrerako gelarekin alderatuta eta 0,6 Sarbideko Galeriaren sarrerako zonarekin alderatuta, non lurpeko airea nahasten baita. Leize barruko neurketa puntuak ez dira zehatz-mehatz ezagutzen eta, horregatik, erreferentzia gisa soilik hartzen dira kontuan.

2006 – 2008 urteen arteko emaitzak

Temperaturren jokabidea.

Ikuspuntu klimatikotik, Mendukiloko leizea bi sektoretan bana dezakegu, argi eta garbi: Sarrerako gela, kanpoko eguratsaren eragin handia duena, horren antzeko jokabide termikoarekin, eta leizearen gainerakoa, egonkortasun ter-

3

climática

En el trabajo mencionado, también se analizó el comportamiento de la pendiente de las tendencias de la temperatura, confeccionando un análisis de regresión de estas con la cantidad total de visitas mensuales. Esto determinó que prácticamente no existía una relación entre el efecto acumulativo térmico y la cantidad de visitantes, considerándose un comportamiento más cercano al natural, es decir, que el efecto acumulativo de calor que tiene lugar en la cueva, tiene su origen en la circulación natural del aire (Otero et. al. 2008).

Comportamiento del CO₂

La variable sobre la que más influencia ejerce la presencia de grupos de personas en las cuevas, es la concentración de dióxido de carbono. Como se mencionó anteriormente, la temperatura sólo varía en rangos de décimas de grados en el interior de la cueva, aun cuando en el exterior, presente recorridos de más de 20 °C.

En el caso del CO₂, el comportamiento es totalmente inverso. En el exterior se mantiene un comportamiento bastante estable, teniendo en el interior de la cueva valores extremos, llegando a registrarse concentraciones superiores a los 1400 ppm, en los valores promedios mensuales, triplicando los valores iniciales (figura 4).

Está comprobado que, en la cueva Mendukilo, la fuente fundamental de CO₂ es la masa de visitantes. Es evidente la relación entre el número de personas que entran a la cueva y los valores que alcanza. En la cueva Mendukilo los valores reportados no solo dependen de las

visitas, también del lugar donde se ubica la sonda de medición.

En Laminosin la sonda se ubica dentro del recorrido de la pasarela, quedando rodeada de las personas en las visitas. Prácticamente el gas es lanzado directamente hacia la sonda, por lo que los valores reportados son muy elevados respecto a Herensugea, la otra estación ubicada en el interior de la cueva.

En el caso de Herensugea, la disposición espacial de la estación favorece que la concentración medida sea más representativa del promedio de la sala, por lo que su valor es muy inferior al de Laminosin. Esta es la causa de la diferencia de concentraciones entre ambas estaciones y la aparente diferencia de velocidad de recuperación hasta valores más naturales.

Esa es la razón por la que en Herensugea se aprecia mejor el efecto acumulativo de CO₂, ya que la difusión del gas por el resto de la sala en Laminosin, enmascara el tiempo de real que se mantienen los valores de concentración.

El CO₂ presenta un comportamiento interesante, la curva de los promedios mensuales refleja que, el mes de abril, a pesar de ser el segundo mes en cantidad de visitantes en los años 2006 y 2007, no hay un incremento significativo de la concentración del gas.

Otro comportamiento interesante del dióxido de carbono fue reportado en el año 2006, en el mes de noviembre, cuando en la estación Herensugea se re-

modinamiko handiagoarekin eta tenperatura aldaketekiko nolabaiteko inertiarekin, lurgaineko eguratsari dagokionez (3. eta 4. irudiak).

Tenperaturaren hileroko batez bestekoen gehienezko ibilbideak ez du 0,7 °C gainditzen, eta kanpoko gorabeheren moteltze handi bat geratzen da agerian. Moteltze hori haitzaren efektu hoztaileak nahiz lurpeko masa gaseosoan gertatzen diren erreakzio termodinamikoek eragiten dute, hala nola airea hezatzek ekartzen duen hozteak, litogenesi prozesuek, gas nahasketek eta galeria estu batetik gela zabaletara igarotzean egiten den espantsio lanak besteak beste.

Gelen bolumen handiak eta beheanzko morfologiak, galeria estuek lotutako gelek, lurpeko airearen berotzean moteltze efektu bat bultzatzen dute; horrela, tenperatura balio altuenen desplazamendu bat antzeman daiteke urrian eta azaroan, kanpoan eta Sarrerako gelan uztailetik irailera bi-

tartean gertatzen dena, alegia.

Fenomeno horren kausa beroaren efektu metatzaila izan liteke, bisiten erregimenaren eraginez. Kontuan hartuta udan izaten direla leizerako bisita gehienak, eta zundak gelen beheko aldean daudela, logikoa izango litzateke neurketako atzerapena.

Aireak, bisitarien masak berotuta, igotzeko joera dauka, eta gelako goiko zatia berotzen du. Aire beroago horrek, bere aldetik, ur lurrun gehiago edukiko du, gizakiek botatakoa. Denboraren poderioz, masa horrek zona baxuagoarekin erreakzionatzen du, molekulen energia zinetikoa areagotuz eroapen-konbekzio mekanismo konplexu baten bidez, zeinak beheko geruzetarako transferentzia termikoa bultzatzen baitu.

Temperaturaren jokabidea eta bisiten erregimenarekin zuen erlazioa aztertzerakoan, barne estazioetan, Aste Santua eta,

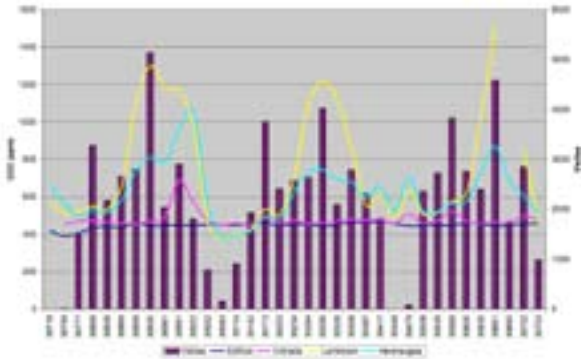


Figura 5. Comportamiento del promedio mensual del CO₂ en las diferentes estaciones y su relación con el régimen de visitas.

5. irudia. CO₂ren hileroko batez bestekoaren jokabidea hainbat estazioetan, eta bisiten erregimenarekin duen erlazioa.

portó, en ese mes, el valor promedio mensual máximo del año.

Durante el año 2007 no se manifestó el fenómeno en el mismo mes, ni con la misma intensidad, presentándose, en menor cuantía en diciembre de 2007 y en febrero de 2008, fechas en que coincidieron con labores de mantenimiento de la pasarela, razón por la que el radón también mostró valores totalmente anómalos, llegando

Año	Visitas
2006	22.453
2007	23.256
2008	23.316

Tabla 3. Comportamiento del total anual de visitas desde enero hasta octubre en la cueva Mendukilo.

3. taula. Urteko gutzitako bisiten jokabidea, urtariletik urrira bitartean, Mendukiloko leizean.

a sobrepasar los 150 000 Bq/m³, hasta alcanzar incluso los 450 000 Bq/m³.

Si se analiza el régimen de visitas anual, se puede constatar un ligero crecimiento anual, teniendo sólo en cuenta la sumatoria desde enero hasta octubre de cada año, para homogenizar los datos obtenidos de los tres periodos analizados. En cambio, sólo en agosto de 2006 se ha alcanzado un valor superior a 5000 visitantes en un mes.

La fuente más probable del excedente de CO₂ detectado en noviembre de 2006, es el gas que puede haberse acumulado en los niveles inferiores, sala del Guerrero y galería del Caballo, durante el verano, cuando se alcanzan valores máximos de concentración en la atmósfera hipogea. Posteriormente, con el comienzo de la salida del aire al exterior, la masa gaseosa acumulada en los sectores más profundos se movilizó hacia el exterior.

En la memoria confeccionada en 2007 (Otero et al 2007), se reporta un mecanismo de circulación del aire en la cueva y su intercambio con el medio exterior, para el invierno y verano (Figura 6).

Este mecanismo se estableció a partir del balance de entalpía, que no contempla la concentración del CO₂, realizado para el interior de la cueva respecto al exterior. El método en general no tiene en cuenta el número de comunicaciones entre los sistemas subterráneo y exterior, por lo que muestra una cierta desavenencia con los

udan, abuztua hartu ziren kontuan gehienbat, bisitari gehieneko garaiak izateagatik (Otero et. Al. 2008).

Aipatutako lanean, tenperaturaren joeren malda aztertu zen halaber, horien erregresio analisi bat eginez hileroko gutzitako bisita kopuruarekin. Horren arabera, ia ez zegoen erlaziorik efektu termiko metatzailearen eta bisitari kopuruaren artean, eta jokabide ia naturalizat hartu zen, hau da, kobazuloaren gertatzen den beroaren efektu metatzailearen sorburua airearen zirkulazio naturalean dagoela (Otero et. al. 2008).

CO₂ren jokabidea

Kobazuloetan, gizataldeen presentziaren eragin handiena duen aldagaia karbono dioxidoaren kontzentrazioa da. Lehenago esan dugunez, tenperatura gradu hamarrenetan soilik aldatzen da leizearen barruan, nahiz eta kanpoan 20

°C-tik gorako gorabeherak izan.

CO₂ren kasuan, jokabidea guztiz alderantzizkoa da. Kanpoan nahiko jokabide egonkorra dauka, eta leizearen barruan ditu muturreko balioak. Izan ere, 1400 ppm-tik gorako kontzentrazioak egon daitezke, hileroko batez besteko balioetan, hasierako balioak hirukoiztuz (4. irudia).

Mendukiloko leizean, egiaztatuta dago CO₂ren sorburu nagusia bisitarien masa dela. Agerikoa da kobazuloan sartzen diren pertsonen kopuruaren eta lortzen diren balioen arteko erlazioa. Mendukiloko leizean, jasotako balioak bisiten araberakoak ez ezik, neurketa zunda kokatzen den lekuaren araberakoak ere badira.

Laminosinen, zunda pasabidearen ibilbidearen baitan dago kokatuta, eta bisitetan pertonez inguratutik gertatzen da. Gasa ia zuzenean botatzen da zundarantz eta, hortaz, jasotzen diren balioak oso altuak dira, kobazulo barruan kokatu-

3 climática



Figura 6. Circulación de la masa gaseosa en a. Verano, b. Invierno y en el periodo de transición c. Primavera – Otoño.
6. irudia. Masa gaseosoaren zirkulazioa, a. Udan, b. Neguan eta trantsizioaldian c. Udaberrian – Udazkenean.

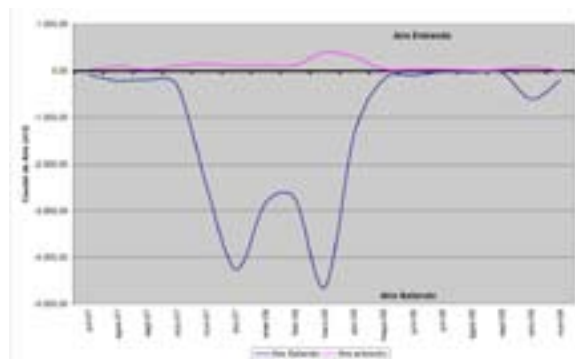


Figura 7. Comportamiento del aire desde julio de 2007 hasta noviembre de 2008, en la galería de Acceso.

7. irudia. Airearen jokabidea 2007ko uztailetik 2008ko azarora bitartean, Sarbideko galerian.

Según este equipo, el movimiento de la masa gaseosa en la galería de Acceso, es predominantemente hacia el exterior, con un mayor caudal, en ambas direcciones, en invierno y un caudal mínimo en verano. Estos resultados muestran que, esta galería no es el único punto de entrada o salida del aire de la cueva. Una de las comunicaciones establecidas por los autores de la obra de referencia, se ubica en el fondo de la sala Entrada (Figura 7). Otra posible entrada la comunicó Carlos Acáz (comunicación personal), como un sumidero obstruido, ubicado al final de la sala del Guerrero, aunque no se han encontrado evidencias morfológicas que sustenten esta afirmación (Otero et al 2008).

La realidad es que la circulación de la masa gaseosa, en el interior de la cueva Mendukilo, es mucho más compleja de lo que se refleja en la figura 6, moviéndose en saco de aire solo el sector de Laminosin, formando en

54 | resultados mostrados por el anemómetro, colocado en la galería de Acceso (Figura 7).

tako beste estazioa den Herensugearekin alderatzuz gero. Herensugearen kasuan, estazioak espazioan duen kokapena dela eta, neurtutako kontzentrazioak gelako batez bestekoa hobeto adierazten du; horregatik, bere balioa Laminosinekoarena baino askoz baxuagoa izaten da. Hori da bi estazioen arteko kontzentrazio aldeen arrazoia, eta balio naturalagoak berreskuratzeko abiaduran dagoen itxurazko aldearena.

Horregatik, Herensugean hobeto antzeman dezakegu CO₂-ren efektu metatzailera; izan ere, gasa Laminosin gelaren gainerakoan hedatzeak mozturrotu egiten du kontzentrazio balioak mantentzen diren denbora erreala.

CO₂k jokabide interesgarri bat dauka: hileroko batez bestekoen kurbak adierazten duenez, apirilean, 2006 eta 2007 urteetan bisitari kopuruan bigarren hilabetea izan arren, ez dago gasaren kontzentrazioaren gehikuntza adierazgarririk.

Karbono dioxidoaren beste jokabide interesgarri bat 2006ko azaroan gertatu zen, Herensugea estazioan, hil horretan, urteko hileroko batez besteko maximoa jaso zenean.

2007 urtean, ez zen fenomeno hori agertu hil horretan, ez eta intentsitate beraz ere. Neurri txikiagoan, 2007ko abenduan agertu zen, eta 2008ko otsailean; data horietan pasabidearen mantentze lanak egin ziren, eta horregatik radonak ere balio erabat anomaloak erakutsi zituen, 150.000 Bq/m³ ere gainditzera, eta are 450.000 Bq/m³ iristeraino ere.

Urteko bisiten erregimena aztertzen badugu, urteko harkunde txiki bat ikus dezakegu, urte bakoitzeko urtariletik urrira bitarteko batukaria soilik kontuan hartuta, aztertutako hiru aldietan jasotako datuak homogeneizatzeko. Aitzitik, 2006ko abuztuan soilik gertatu da 5000 bisitari gainditzea hilabete batean.

el resto un tubo de viento. El movimiento del aire no se detecta, precisamente por la amplitud de las salas Tomando en consideración que el caudal de aire se acerca a 0 en los meses de verano, lo que implica una cierta recesión en la circulación atmosférica, favoreciendo un efecto acumulativo de CO₂, fundamentalmente en el sector Laminosin, ya que el sector Herensugea, al tener comunicación tanto con los niveles inferiores, como con la sala Entrada, permite una rápida recuperación.

El aire en la cueva Mendukilo, tiene una dirección predominante desde el exterior hacia el interior de la cavidad, con mayor fuerza en invierno y una aparente calma en verano (tabla 4).

En la tabla 4 se realizó la sumatoria de los caudales mensuales, separando los que entran de los que salen, para determinar la relación del movimiento de la masa gaseosa. La relación es muy superior por el aire que sale durante todo el año, es decir, si la circulación fuera en saco de aire, el volumen de aire que sale debería corresponderse con el volumen que entra, lo que no ocurre, como se aprecia en los resultados de las mediciones.

Una de las principales variables que generan el movimiento de la masa gaseosa, es la presión atmosférica. Una disminución de la presión en un punto, forma un gradiente que impulsa a los gases en la dirección de su máximo desarrollo.

El movimiento de la masa gaseosa también es generado por la diferencia de densidades, y este parámetro de-

pende de la presión atmosférica, el contenido de vapor de agua, contenido de CO₂ y la temperatura, fundamentalmente.

Fecha	Aire Saliendo	Aire entrando	Visitas
jul-07	-83,81	37,65	2,23
ago-07	-206,91	111,33	1,86
sep-07	-192,95	29,68	6,50
oct-07	-313,92	118,44	2,65
nov-07	-2.477,07	159,36	15,54
dic-07	-4.253,03	107,73	39,48
ene-08	-2.814,83	123,08	22,87
feb-08	-2.742,54	129,45	21,19
mar-08	-4.638,32	398,53	11,64
abr-08	-1.332,20	298,53	4,46
may-08	-168,28	43,05	3,91
jun-08	-90,62	35,19	2,57
jul-08	-16,70	28,27	0,59
ago-08	-27,03	7,07	3,82
sep-08	-40,88	31,13	1,31
oct-08	-596,07	99,21	6,01
nov-08	-192,76	3,79	50,88

Tabla 4. Comportamiento de los caudales mensuales de aire, sumando los caudales que entran y los que salen de la cueva.

4. taula. Airearen hileroko emarien jokabidea, kobazuloaren sartzien eta handik irteten diren emariak batuta.

2006ko azaroan detektatutako CO₂ren soberakinaren sorbururik ziurrena beheko mailetan, Gerlariaren gelan eta Zaldiaren galerian alegia, udan metatu ahal izan den gasa da, orduan izaten baitira kontzentrazio baliorik altuenak lurpeko eguratsean. Ondoren, airea kanporantz irteten hastean, sektore sakonenetan metatutako masa gaseosoa kanporantz mugitu zen.

2007an egindako txostenean (Otero et al 2007) kobazuloko airearen zirkulazio mekanismo baten berri ematen da, eta kanpoko ingurunearekin duen elkarreraginarena, neguan eta udan (6. irudia).

Mekanismo hori, leize barrurako eginiko entalpia balantzean oinarrituta finkatu zen, kanpoaldearekin alderatzeko, eta horrek ez du CO₂ren kontzentrazioa kontuan hartzen. Metodoak oro har ez du kontuan hartzen lurpeko eta kanpoko sistemen arteko komunikazio kopurua eta, horregatik, no-

labaiteko desadostasuna erakusten du Sarbideko galerian ezarritako anemometroan jasotako emaitzekin (7. irudia).

Ekipo horren arabera, Sarbideko galeriako masa gaseosoaren mugimendua kanporantzkoa da nagusiki, eta emari handiagoa dauka, bi norabideetan, neguan, eta emari minimoa udan. Emaitza horiek erakusten dutenez, galeria hori ez da kobazuloko airea sartzeko edo irteteko gune bakarra. Erreferentziatzko lanaren egileek finkatutako komunikazioetako bat Sarrerako gelaren atzealdean dago (7. irudia). Beste balizko sarrera bat Carlos Acazek jakinarazi zuen (komunikazio pertsonala), isurbide oztopatu gisa, Gerlariaren gelaren amaieran kokatua, baina ez da baieztapen hori egiaztatzen duen froga morfologikorik aurkitu (Otero et al 2008).

Egia esan, Mendukilo kobazuloko masa gaseosoaren zirkulazioa 6. irudian ageri dena baino askoz konplexuagoa da;

3 climática

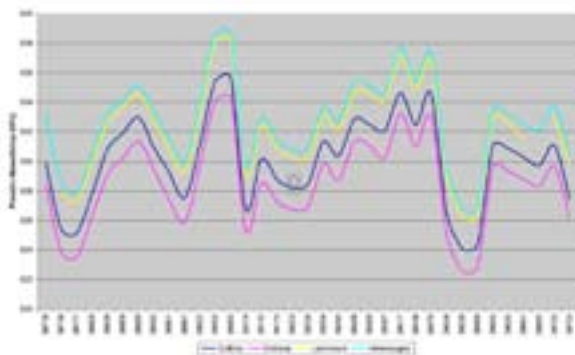
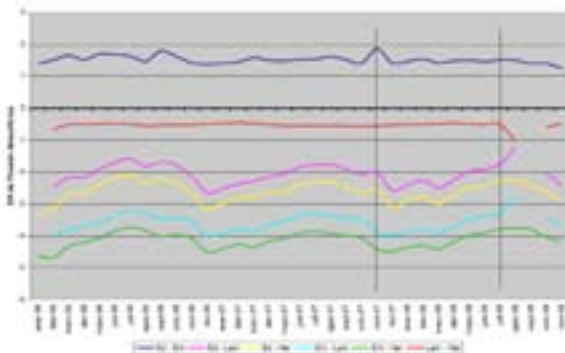


Figura 8. Comportamiento del promedio mensual de la presión atmosférica. 8. irudia. Presio atmosferikoaren hileroko batez besteko jokabidea.

El comportamiento de la presión atmosférica en las estaciones de mediciones, mantiene un patrón semejante (Figura 8). La fuerte dependencia de este parámetro con la altura, genera las diferencias de valores entre los diferentes puntos.

Figura 9. Comportamiento de la diferencia de presión entre las estaciones de medición, en los valores de los promedios mensuales.

9. irudia. Neurketa estazioen arteko presio aldearen jokabidea, hileroko batez bestekoen balioetan.



aire zakuan Laminosingo sektorea soilik mugitzen da, gainerakoan haize tutua osatuz. Airearen mugimendua ez da detektatzen, gelen zabalera dela eta, hain zuzen ere. Kontuan hartuta airearen emaria Ora hurbiltzen dela udako hilabeteetan, eguratseko zirkulazioaren nolabaiteko atzeraldia gertatzen da, CO₂ren metatze efektua bultzatuz, Laminosingo sektorean batez ere; izan ere, Herensugea sektorean, komunikazioa dagoenez beheko mailekin nahiz Sarrerako gelarekin, azkar berreskura liteke. Mendukiloko leizearen aire norabide nagusia kobazuloaren kanpoaldetik barrualderantz-koa da, indar handiagoaz neguan eta itxurazko baretasunaz udan (ikus 4. taula).

4. taulan, hileroko emarien batukaria egin zen, sartzen direnak eta irteten direnak bereiziz, masa gaseosoaren mugimenduaren erlazioa zehazteko. Erlazioa askoz altuagoa da urte guztian irteten den aireari dagokionez,

Al calcular la diferencia de presión entre las estaciones, se manifiestan algunas diferencias en el comportamiento de las curvas que las representan. Sólo hay dos pares de estaciones que presentan diferentes patrones, en referencia con el resto de las parejas establecidas (figura 9), estos son Edificio – Entrada y Laminosin – Herensugea.

Para una mejor comparación, asumiremos que el comportamiento de las curvas, reflejan el comportamiento del gradiente de presión entre las estaciones, aunque es solo el valor lo que varía, pues las distancias entre las estaciones se mantienen constantes.

Como se aprecia en la figura 9, el mayor gradiente entre las estaciones se genera en el mes de diciembre, acentuándose la diferencia entre las estaciones interiores y la Entrada. Esto significa que existe un incremento de la presión atmosférica en interior de la cueva. Este incremento es mínimo entre las estaciones interiores.

En el verano, el gradiente de la presión se mantiene en un rango estable entre las estaciones interiores y Entrada, siendo más variable en relación con el exterior, con una tendencia a disminuir, con una mayor oscilación, generando un cierto efecto pistón que produce una salida de aire por la galería Acceso.

Durante el invierno, el gradiente entre las estaciones interiores y Exterior presenta una cierta tendencia al incremento, pero con una menor variabilidad, en tanto el

hau da, zirkulazioa aire zaku moduan izango balitz, irteten den aire bolumena sartzen denarekin bat etorriko litzateke, eta ez da halakorik gertatzen, neurketen emaitzak ikusita.

Masa gaseosoaren mugimendua sortzen duten aldagai nagusietako bat presio atmosferikoa da. Puntu batean presioa murrizteak gradiente bat eratzen du, gasak beren garapen handienerantz bultzatzen dituen.

Masa gaseosoaren mugimendua dentsitateen aldeek ere sortzen du, eta parametro hori presio atmosferiko, ur lurrunaren eduki, CO₂ren eduki eta tenperaturaren araberakoa da, nagusiki.

Presio atmosferikoaren jokabideak neurketa estazioetan, jarraibide bertsua dauka (8. irudia). Parametro horrek altuerarekiko duen menpekotasun handiak balio desberdinak sortzen ditu hainbat puntutan.

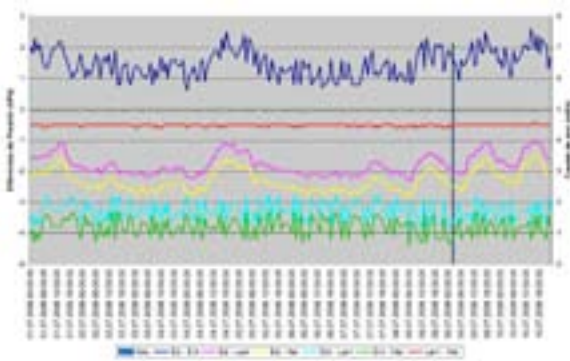


Figura 10. Comportamiento de la diferencia de presión y caudal de aire en verano. 10. irudia. Presio aldearen eta aire emariaren jokabidea udan.



Figura 11. Comportamiento de la diferencia de presión y caudal de aire en invierno. 11. irudia. Presio aldearen eta aire emariaren jokabidea neguan.

gradiente de Entrada con las estaciones interiores mantiene un comportamiento parecido, con una tendencia al incremento (figura 11).

El incremento de la variabilidad del gradiente de presión entre las estaciones interiores, es otro efecto que se muestra en invierno, todo lo anterior favorece a la generación del efecto pistón, disparando la salida del aire por la galería Acceso. La acumulación del aire debe ser, fundamentalmente en la sala Laminosin, aunque una buena parte proviene también de las salas más profundas de la cueva.

El efecto pistón se manifiesta, fundamentalmente, en los momentos en que la cueva expulsa el aire a través de la galería Acceso, propiciado por el gran volumen que puede

que aceptan los conductos mencionados, en relación al volumen que es capaz de evacuar la otra (u otras) zonas de intercambio con el exterior, que fundamentalmente son grietas de poco diámetro o, de cumplirse con la comunicación de Acaz, estar totalmente colmatadas por rocas y sedimentos terrígenos que dificultan el paso del aire.

Conclusiones

Desde el punto de vista térmico, la cueva Mendukilo presenta un comportamiento similar al que tendría en condiciones naturales, sin una influencia directa de la masa de visitantes. Las afectaciones de la temperatura que se aprecian en las lecturas, se recuperan rápidamente, favorecido por las dimensiones de las salas que conforman la cavidad.

Estazioen arteko presio aldea kalkulatzera, desberdintasun batzuk agertzen dira adierazten dituzten kurben jokabidean. Bi estazio pare besterik ez daude jarraibide desberdinak dituztenak, finkatutako gainerako bikoteei dagokienez (9. irudia): Eraikina – Sarrera eta Laminosin – Herensugea.

Alderaketa hobeto egiteko, kurben jokabideak estazioen arteko presio gradientearen jokabidea islatzen dutela pentsatuko dugu, nahiz eta balioa soilik izan aldatzen dena, estazioen arteko distantziak konstanteak baitira.

9. irudian ikus daitekeenez, estazioen arteko gradienterik handiena abenduan sortzen da, eta barneko estazioen eta Sarreraren arteko aldea areagotu egiten da. Horren arabera, kobazulo barruko presio atmosferikoa handitu egiten da. Handitze hori minimoa da barne estazioen artean.

Udan, presioaren gradientea hein egonkor batean man-

tentzen da barne estazioen eta Sarreraren artean, eta aldakorra da kanpoaldeari dagokionez, murrizteko joeraz, oszilazio handiagoaz; horrela, Sarbide galeriatik airea irtetea dakarren nolabaiteko pistoi efektua sortzen da.

Neguan, barne estazioen eta Kanpoaldearen arteko gradientek handitzeko joera dauka nolabait, baina aldakortasun txikiagoa; Sarrera eta barne estazioen arteko gradientek, aldiz, antzeko jokabidea dauka, handitzeko joeraz (11. irudia).

Barne estazioen arteko presio gradientearen aldakortasuna handitzea da neguan agertzen den beste efektu bat; aurreko guztiak pistoi efektua sortzen laguntzen du, eta airea Sarbide galeriatik bultzatzen du. Aire metaketak Laminosin gelan gertatu behar du nagusiki, baina neurri handi batean kobazulo gela sakonagoetatik ere dator.

Pistoi efektua kobazuloak airea Sarbide galeriatik botatzen

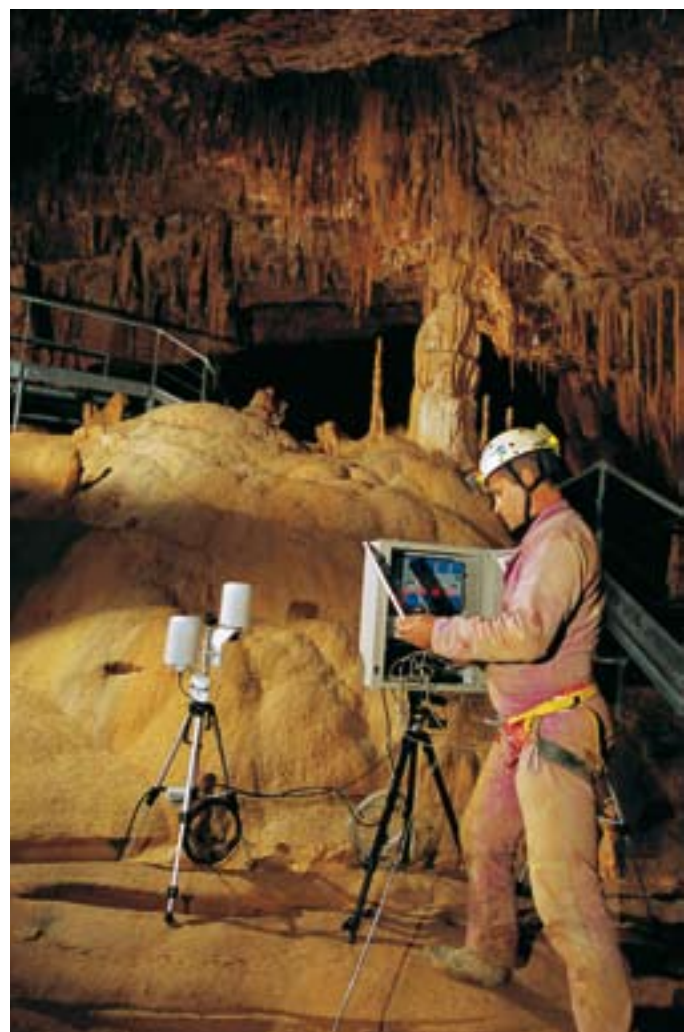
3 climática

Es precisamente, por el gran volumen de la masa gaseosa subterránea y la baja conductividad térmica del aire, que se genera una cierta inercia respecto a los valores máximos de la temperatura, respecto al sistema exterior, alcanzándose en las estaciones interiores en los meses de octubre - noviembre, mientras que en el ambiente epigeo estos valores se manifiestan entre los meses de julio a septiembre.

En el caso del CO_2 , se manifiesta claramente la influencia del régimen de visitas, principalmente en el sector Laminosin. Las elevadas concentraciones del gas registradas en esa zona, son debidas a la ubicación de las sondas de mediciones, colocadas entre la pasarela, recibiendo directamente las emanaciones humanas. Ésta es también la causa de la rápida recuperación de los valores normales.

La concentración de CO_2 , hasta el momento, no se ha acercado a los valores críticos señalados por otros autores, de 2400 ppm, manteniéndose, en el sector Herensugea, inferiores a los 1000 ppm.

La cueva Mendukilo presenta una circulación del aire muy particular y compleja, formándose un tubo de viento entre los sectores Entrada, Herensugea y posiblemente Guerrero, predominando las corrientes en el sentido antes mencionado, con la generación de un efecto de pistón cuando el trabajo de expansión en los niveles inferiores supere la presión motriz, generada entre los extremos del tubo de viento.



58 |

duen uneetan agertzen da nagusiki, aipatu diren bideek, kanpoarekiko beste truke zonak (edo zonek) eraman dezakeen bolumenarekin alderatuz, onar lezaketzen bolumen handiak bultzatuta. Izan ere, beste zona horiek diametro txiki-kiko arrailak dira gehienbat edo, Acazen komunikazioaren arabera, haitzez edo lur sedimentuez erabat betetakoak, airea igarotzea oztopatzen dutenak.

Ondorioak

Ikuspuntu termikotik, Mendukiloko leizeak baldintza naturaletan izango lukeenaren antzeko jokabidea dauka, bisitarien masaren zuzeneko eraginik gabe. Irakurketetan ikus daitezkeen tenperatura gorabeherak azkar egonkortzen dira, leizea osatzen duten gelen dimentsioek lagunduta.

Hain zuzen ere, lurpeko masa gaseosoaren bolumen han-

dia eta airearen konduktibitate termiko txikia dela eta, nolabaiteko inertzia sortzen da tenperaturaren balio altuenei dagokienez, kanpoko sistemarekin alderatuta. Barne estazioetan, urria – azaroa hilabeteetan lortzen dira balio horiek, eta lurpeko eguratsean, berriz, uztailetik irailera bitartean.

CO_2 ren kasuan, argi eta garbi ikusten da bisiten eragina, Laminosingo sektorean batez ere. Zona horretan jasotako gasaren kontzentrazio handiak neurketa zunden kokapenak eragindakoak dira, pasabidearen artean baitaude, giza emanazioak zuzenean jasoz. Hori da, halaber, balio normalak azkar berreskuratzearen arrazoia.

CO_2 ren kontzentrazioa, orain arte, ez da beste autore batzuek adierazitako 2400 ppm-ko balio kritikoetara hurbildu, eta Herensugea sektorean 1000 ppm-tik beherako balioak mantendu dira.

Mendukiloko leizeko aire zirkulazioa oso berezia eta kon-

Otro efecto que ha tenido el régimen actual de visitas sobre los mecanismos de transferencia de masa y energía, es que ha transformado el equilibrio de la cueva, no solo por la simple presencia humana en la cavidad, también por las modificaciones morfológicas que ha sufrido la cueva en las diferentes etapas. Una característica fundamental de la atmósfera subterránea, es precisamente la gran inercia que ofrece a los cambios, que pueden demorar en manifestarse varios años, dependiendo de los volúmenes que influyen sobre la circulación del aire.

La cueva Mendukilo, desde el punto de vista termodinámico, se encuentra en un estado de transición de equilibrios, lo que hace más compleja la descripción de los mecanismos, constantemente cambiantes, principalmente por la característica de que uno de los extremos del tubo de viento, no tiene la capacidad suficiente para evacuar completamente la masa que entra por los sectores superiores de la cavidad.

Se debe mencionar la gestión de explotación de la cueva, que no ha ofrecido un impacto negativo del cambio de uso sobre el sistema subterráneo, buscando un equilibrio entre la gestión económica y el cuidado de la cueva.

Bibliografía

Agirre E. (2008). Estudio microclimático de la cavidad de Mendukilo. Rev. Subterránea No. 29. Pag. 28 – 31.

Otero V. (1990) Estudio del comportamiento actual de las variables físicas y químicas de la cueva El Cable. Boca de Jaruco. La Habana. Tesis de Categorización Superior de Espeleología.

Otero V. (1992) . Contribución al estudio de la transferencia de masa y energía en las cavernas. Algoritmo de Cálculo. II Congreso Espeleológico de FEALC. 1992.

Ugalde T. (2004). Estudio cueva de Aztiz. Memoria del grupo Felix Ugarte. Pag. 32.

Eraso A. (1969). Corrosión climática en las cavernas. Estratto de Ressegna Speleologica Italiana. Anno XXI. Fascicolo 1.4.

Otero. V., Les. J. y Malanda. R. (2007). Estudio del microclima de la cueva de Mendukilo. Astiz. Navarra. Periodo Enero – Diciembre 2006. Memoria anual.

Otero. V., Les. J. y Malanda. R. (2008). Estudio del microclima de la Cueva de Pozalagua. (Bizkaia). Período Junio de 2004 a Junio de 2008. Memoria anual.

plexua da. Haize tutu bat eratzten da Sarrera, Herensugea eta beharbada Gerlaria sektoreen artean, eta lehen aipatutako norabideko korronteak dira nagusi; pistoi efektu bat sortzen da beheko mailetako espantsio lanak haize tutuaren muturren artean sortutako presio eragilea gainditzten duenean.

Masa eta energia mekanismoetan oraingo bisita erregimenak izan duen beste ondorio bat leizearen oreka eraldatzea da, giza presentziagatik ez ezik, baita kobazuloak hainbat etapatan izan dituen aldaketa morfologikoengatik ere. Lurpeko eguratsaren funtsezko ezaugarri bat aldaketan aurrean duen inertzia handia da, hain zuzen ere. Aldaketek hainbat urte behar izan dezakete agertzeko, airearen zirkulazioan eragina duten bolumenen arabera.

Mendukiloko leizea, ikuspuntu termodinamikotik, oreken trantsizio egoeran dago. Horregatik, konplexuagoa da eten-

gabe aldatzen ari diren mekanismoen deskribapena, nagusiki ezaugarri honengatik: haize tutuaren muturretako batek ez du behar adinako ahalmenik kobazuloko goiko sektoreetatik sartzen den masa erabat ebakutzeko.

Leizearen ustipanearen kudeaketa aipatu beharra dago, erabilera aldaketak ez baitu eragin negatiborik izan lurpeko sisteman, eta oreka bilatu baita kudeaketa ekonomikoaren eta kobazuloa zaintzearen artean.