



DIPUTACIÓN DE TOLEDO

SERVICIO DE MEDIO AMBIENTE

Beca de investigación Ambiental

**DESPRENDIMIENTOS Y FACTORES
METEOROLÓGICOS EN LA CARRETERA
DE CIRCUNVALACIÓN, CONOCIDA COMO
“EL VALLE”
(TOLEDO)**

**TOLEDO, 2010
BEATRIZ ROIG RUIZ**

ÍNDICE

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. Planteamiento general.....	7
1.2. Delimitación del área de estudio.....	10
1.3. Metodología y objetivos.....	13
2. ANÁLISIS DE FACTORES METEOROLÓGICOS Y DESPRENDIMIENTOS.....	16
2.1. Introducción.....	17
2.2. Inventario cronológico y espacial de los desprendimientos.....	20
2.3. Relación entre desprendimientos y datos meteorológicos.....	25
2.3.1. Relación eventos y precipitaciones anuales.....	25
2.3.2. Relación entre eventos y precipitaciones mensuales.....	26
2.2.3. Relación entre eventos y día de máxima precipitación.....	28
2.2.4. Relación entre eventos y períodos de lluvia efectiva.....	33
2.2.5. Desprendimientos no relacionados con la lluvia.....	36
3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	41
4. BIBLIOGRAFÍA.....	45
5. ANEXO.....	48

La Dra. D^a Rosa M^a Carrasco González, Profesora Titular y subdirectora del Departamento de Ingeniería Geológica y Minera y profesora del área de Geodinámica externa de la Universidad de Castilla-La Mancha,

INFORMA QUE,

En relación al visado de la beca de Investigación sobre “Desprendimientos y factores meteorológicos en la Carretera de Circunvalación de Toledo” concedida a D^a Beatriz Roig Ruiz,

Este trabajo ha estado dirigido y enfocado para continuar con el Proyecto Final de Carrera iniciado por la autora en el 2004. La adopción de medidas correctoras para minimizar el riesgo de desprendimientos hace cinco años, unido a los últimos eventos ocurridos y las lluvias continuadas fundamentalmente durante el último trimestre de 2009, han permitido establecer una relación entre los factores meteorológicos y los desprendimientos. Los resultados arrojan información de interés para las diferentes Administraciones Públicas que al día de la fecha se encuentran estudiando la problemática de esta vía.

Lo que comunico a los efectos oportunos.

En Toledo, a 12 de marzo de 2010

Fdo. Dra. D^a Rosa M^a Carrasco González

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría expresar mi agradecimiento a todas las personas que han hecho posible que esta beca haya llegado a su fin, gracias a su colaboración y ayuda:

En primer lugar al Servicio de Medio Ambiente de la Diputación Provincial de Toledo, por desarrollar estas becas que contribuyen a fomentar el interés por la investigación. A Pedro por facilitarme los trámites administrativos que en algunas ocasiones se dilatan.

A D^a Rosa M^a Carrasco González, tutora del proyecto, y a la Universidad de Castilla-La Mancha por la colaboración para guiar esta beca así como por el interés mostrado para que continúe con el tema.

Al Excmo. Ayuntamiento de Toledo y a su corporación política. A Isabelo Sánchez Gómez, Jefe del Servicio de Bomberos y Montserrat Cañadillas Martín por las fotografías y partes de intervenciones en la zona. A D. Juan Suardíaz Álvarez, Jefe del Servicio de Obras e Infraestructuras por facilitar que trabaje con la empresa contratada para estudiar la zona, Geocisa S.A. A ésta y a Orbis Terrarum, Ángel Luis Grande Alcazar y José Luis Fortes Revilla respectivamente, por el trabajo de campo conjunto y los datos técnicos facilitados.

Por último y no menos importante, a mi familia por animarme a continuar con el Proyecto Final de Carrera y fomentar el interés por la investigación.

RESUMEN

La Carretera de Circunvalación de Toledo es un claro ejemplo de la realización de una vía de acceso a un núcleo de población construida en un área de relieve accidentado, que conlleva importantes desmontes.

Es una zona que se encuentra afectada con frecuencia por desprendimientos de rocas. Desde que se realizaron las obras de acondicionamiento y mejora, ha sufrido frecuentemente los efectos de este tipo de movimientos en masa debido a la inestabilidad de sus taludes. De hecho en los últimos dieciséis años la caída de rocas sobre la vía se ha incrementado.

Los desprendimientos rocosos son un proceso natural en la evolución de las laderas pero la intervención del hombre en la carretera ha favorecido y contribuido a desencadenar este tipo de fenómenos, suponiendo un peligro importante para la vía así como para los viandantes y personas que pasean por este entorno.

Con el objetivo de prevenir y mitigar el riesgo que representan las caídas de rocas y sobre la base de que las precipitaciones son el desencadenante fundamental en estos procesos gravitacionales se estudia la relación existente entre los factores meteorológicos y este tipo de fenómenos.

Con el registro de 37 eventos para el período 1997 - 2009 y en torno al 60% de los desprendimientos ocurridos en los últimos 4 años durante los meses de diciembre, octubre, marzo y abril fundamentalmente, se lleva a cabo en primer lugar un análisis cuantitativo de desprendimientos ocurridos para esta serie temporal. Posteriormente, cualitativo a partir de los datos pluviométricos para esos años evaluándose, los eventos ocurridos anual y mensualmente así como en los días previos al día más lluvioso, en el día de mayor precipitación y en los días posteriores al día del evento para esos años. Se finaliza con el estudio de la precipitación efectiva o acumulada 15 días previos al evento.

Las relaciones de las variables climáticas y los desprendimientos son muy complejas aún así, del total de desprendimientos el 18,9% se encuentra relacionado directamente con las precipitaciones, 24,32% con los ciclos de hielo y deshielo y el resto (56,8%) no tienen una causa determinada.

La consecución de la metodología y los resultados obtenidos del análisis hacen ser prudente en las interpretaciones pero representan una base que podrían utilizarse como orientación previa a otros estudios más detallados de la zona.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento general

La red de carreteras durante el siglo XX se ha visto incrementada y en este siglo se continúa ampliando y renovando con diseños más seguros y respetuosos con el entorno, favorecido por el uso continuado del automóvil. Hoy en día, una familia española dispone de dos vehículos¹ y este medio de transporte ha pasado a ser un útil diario del ciudadano.

La tendencia de construcción de carreteras con vías de escasa pendiente y trazado rectilíneo unido a la Orografía de la Península Ibérica supone en ocasiones, desmontar el terreno o construir túneles en zonas de laderas rocosas. La evolución natural de las laderas rocosas va asociada a movimientos de ladera que se incrementan cuando interviene la acción humana. Estos movimientos, desprendimientos, deslizamientos rotacionales y traslacionales y corrientes de derrubios según la clasificación de Varnes (1978), afectan a las carreteras o edificaciones suponiendo un factor de riesgo para las infraestructuras y en ocasiones para las personas que conlleva una gran cantidad de daños y pérdidas económicas.

La intervención del hombre induce a desencadenar este tipo de movimientos y es la caída de rocas o desprendimientos, el fenómeno de inestabilidad más frecuente en áreas montañosas y zonas de desmonte.

En Toledo se encuentra un claro ejemplo de la relación de la construcción de una carretera en una zona de ladera natural con la intervención antrópica y el incremento del número de desprendimientos.

Toledo está enclavado en un promontorio granítico rodeado por el río Tajo. El río que abraza la ciudad, es el responsable del emplazamiento de ésta debido a su cambio de dirección conformando el llamado Torno del Tajo.

Se ubica entre dos grandes unidades geológicas peninsulares: el Macizo Hespérico o Ibérico y las cuencas o depresiones cenozoicas. En el entorno de Toledo ambos conjuntos entran en contacto mediante un sistema de fallas alpinas (Caballero et al 2003).

Los materiales y estructuras aflorantes del **Macizo Hespérico o Ibérico** se formaron durante el Devónico medio y el Carbonífero superior (Era Paleozoica). Son rocas metamórficas de alto grado e ígneas plutónicas, entre las que predominan migmatitas y granitoides, que constituyen el denominado “Complejo Anatéctico de

¹ De acuerdo a los datos población a 1 de Enero de 2009 según el I.N.E de 46.745.807 y el parque automovilístico según Anfac de 27.613.145, la media española de vehículos es de 1.69%

Toledo”. Las rocas correspondientes al relleno sedimentario de las cuencas son el resultado de sedimentación miocena (Era Cenozoica) y son materiales fundamentalmente detríticos, y en menor medida carbonáticos, depositados en medios continentales aluviales y palustres. A esta unidad pertenecen los depósitos cuaternarios del Tajo.

Tiene dos importantes fracturas con dirección general E-O que han generado el trazado del valle del río a su paso por la ciudad, con un perfil muy suave en la vertiente derecha y más abrupto en la izquierda.

Se caracteriza por un clima continental con inviernos y veranos largos y rigurosos donde el efecto provocado por el valle del río Tajo origina pequeñas variaciones de carácter térmico (El anexo recoge los datos climáticos). La ciudad está enmarcada por las isotermas anuales de 14 a 16 grados centígrados. El mes más frío es el de diciembre y en cuanto al mes más calido, julio es el que recoge las temperaturas más altas. Los meses de diciembre y enero recogen mayor número de días de heladas.

La precipitación media anual oscila en torno a los 376 mm siendo el período más seco los meses de julio y agosto. En cuanto a la época de lluvia, es algo más variable. Las precipitaciones son irregulares a lo largo del año y abril suele ser el mes lluvioso.

Tras la breve descripción fisiográfica de Toledo y relacionado con las obras públicas y los movimientos de ladera, en los procesos de inestabilidad intervienen factores que condicionan su generación y otros que inducen a desencadenarlos.

Los factores condicionantes o pasivos dependen de la propia naturaleza, estructura y forma del terreno, de forma que varían lentamente. Por el contrario, los desencadenantes (activos) son factores externos de variación más rápida, que provocan la inestabilidad y en algunos casos son responsables de la magnitud y velocidad de los movimientos.

Estos últimos son variados y pueden deberse a factores locales, como la pérdida de cubierta vegetal o las obras que modifican localmente el perfil de la ladera pero con carácter general y para prácticamente todas las condiciones climáticas, las precipitaciones se citan como el agente desencadenante principal.

Un régimen de precipitaciones irregular, con lluvias concentradas en periodos cortos de tiempo determina una elevada probabilidad de ocurrencia de inundaciones y movimientos de ladera. El régimen de precipitaciones está cambiando y en Toledo este cambio se ha traducido en un incremento del número de desprendimientos en diversas vías de comunicación. La peor parte se lo ha llevado la Carretera de Circunvalación conocida como Carretera del Valle, que tras varios eventos y cuantiosas pérdidas

económicas se ha cerrado al tráfico y viandantes para tomar las medidas que se consideren oportunas.

La Carretera de Circunvalación data del primer tercio del siglo XX (en torno a 1930-1935). Anterior a su construcción la zona era ladera natural. (Figura 1. Tramo de la situación de la Carretera tomada de la Vista Panorámica desde la Virgen del Valle, J. Laurent.). La necesidad de salidas hacia el sur de la ciudad hizo que se construyera esta vía que primeramente requería de la construcción de puentes para comunicar sendas márgenes del río. La Carretera inicialmente era un camino y con la construcción del Puente Nuevo de Alcántara (Figura 2) a principios de siglo y posteriormente del Puente de la Degollada en 1935 (Figura 3) se convirtió a lo que prácticamente se puede ver hoy.



Figura 1. Situación de la Carretera de Circunvalación tomada de la Imagen Vista de Toledo de J. Laurent, 1872.



Figura 2. Puente Nuevo de Alcántara

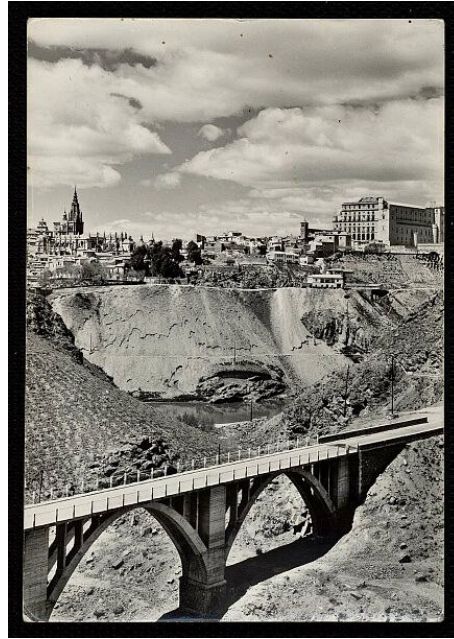


Figura 3. Puente de la Degollada

1.2. Delimitación del área de estudio

La situación orográfica de Toledo debido al curso del río Tajo a su paso por la ciudad, reduce la comunicación con sus alrededores a nueve redes viarias. Esta red soporta una gran densidad interurbana, favorecida en los últimos años por la aglomeración de población y las urbanizaciones recientes en torno a la ciudad.

El área de estudio considerada es una de las infraestructuras con continuada afluencia de tráfico, la Carretera de Circunvalación. Esta vía es de gran importancia por la comunicación de los alrededores de Toledo con el Casco Histórico y por su unión con otras carreteras comarcales o nacionales.

Está construida en un área de relieve accidentado, que conlleva importantes desmontes y a su vez, está condicionada por las características fisiográficas definidas sobre todo por el río Tajo, lo que conlleva la generación de inestabilidades superficiales asociadas con la estabilidad de las vertientes provocando cada año numerosos daños en la vía hasta el momento.

Para poder llevar a cabo el estudio el área seleccionada es un tramo de 1500 metros situado entre el Puente de Alcántara y la Ermita de la Virgen del Valle. (Figura 4) Respecto al estudio con referencia BRR. PFC, 2004 el ámbito se ha ampliado hacia el norte y sur 900 m.

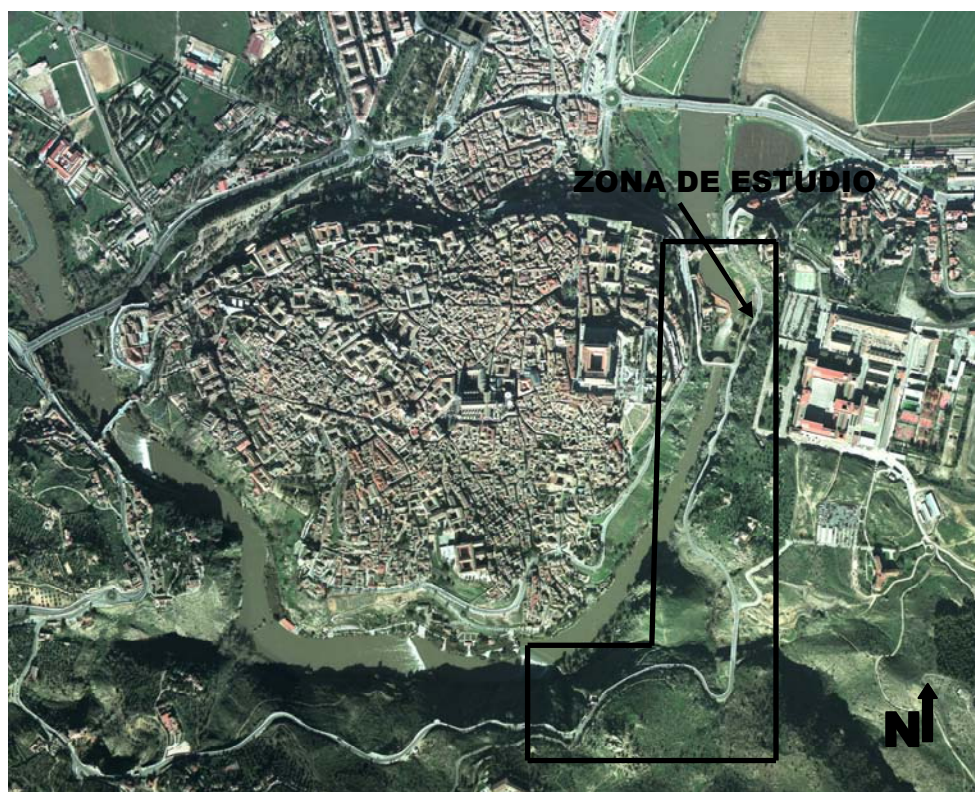


Figura 4. Fotografía aérea correspondiente a la pasada 4, fotograma nº 6077 (escala 1:6000) de la ciudad de Toledo

La pendiente general de la ladera en la zona de estudio varía de $25 - 45^\circ$, si bien presenta variaciones máximas locales superiores a los 45° en las zonas de desmonte, frente a los $30-35^\circ$ presentes en laderas equivalentes sin modificar antrópicamente (Figura 3, BRR. PFC, 2004).

La carretera en este tramo circula a media ladera, paralela a la margen izquierda del río Tago. Su cota media es de 480 m. Aumenta progresivamente hasta el final del recorrido, desde 460 m a 520 m en la zona de la ermita. Considerar que para utilizar toda la información disponible del *Proyecto de Aplicación del Estudio de Susceptibilidad a la minimización del riesgo debido a los movimientos en masa en el Valle* se considera como origen el punto nuevo de Alcántara (Figura 5).



Figura 5. Origen de medición de los puntos kilométricos

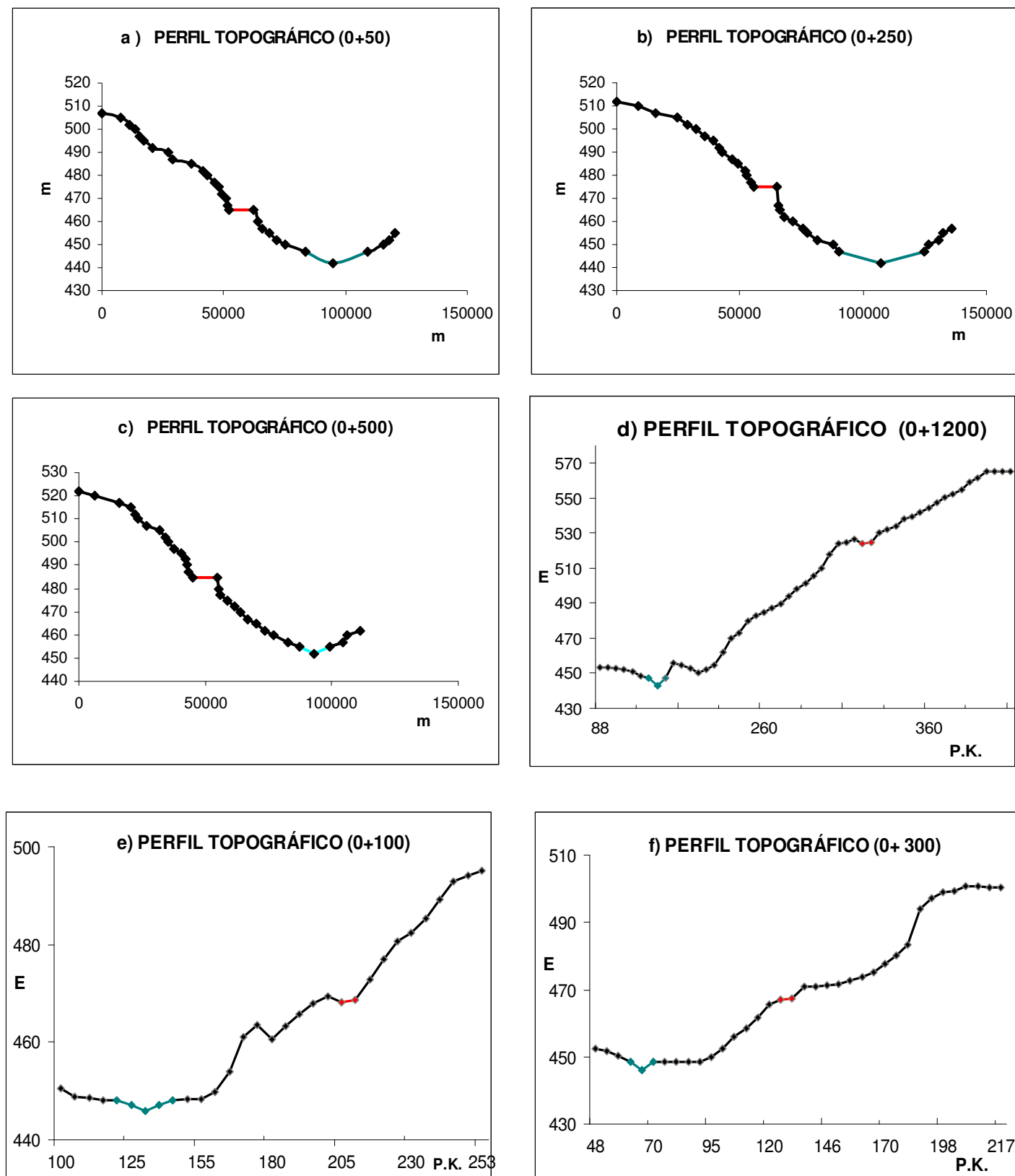


Figura 6. Perfiles topográficos donde se muestra la situación de la carretera (línea roja) en relación a la ladera (línea negra); a) entre P.K. 0+50 (S); b) entre P.K. 0+250 (S); c) entre 0+500 (S) ; d) entre 0+1200 (S) ; e) entre 0+100 (N); entre 0+300 (N)

— Carretera de Circunvalación

— Río Tajo

— Arroyo de la Degollada

La matriz rocosa está constituida por gneis y migmatitas. La parte superior del terreno que se corresponde con ladera natural está formada fundamentalmente por migmatitas. En ellas puede haber una mezcla de gneis porfiroide de grano medio y granítico con diques de gabarros y diques pegmatíticos centimétricos y decimétricos. En la parte inferior, desde el punto de partida del Puente de Alcántara en sentido aguas abajo, nos encontramos primeramente una mezcla de gneis porfiroide con cristales de feldespato de 1 a 2 hasta incluso 3 cm, gneis feldespático, gneis biotítico con diques pegmatíticos y gneis micáceo de grano medio con lentejones máficos y cuarzo-feldespáticos (Ver apartado plano).

Existen cambios en el color original del conjunto rocoso. La parte superior o zona de ladera tiene un grado de meteorización III y en la parte inferior varía de II a IV aumentando el grado a medida que nos desplazamos hacia el final de la zona de estudio. De forma que, en la base de la carretera se acumulan los depósitos de talud (piedras en forma de lajas, cuñas, chineo, bloques con tamaño entre 0.5 y 1 m) producto de la meteorización y la erosión causada por los desprendimientos.

La cubierta vegetal es arbustiva y herbácea. La zona de ladera natural tiene aproximadamente entre un 60% y un 70% de cobertura y en la zona inferior este porcentaje disminuye considerablemente. Desde el P.K. 0+200 el crecimiento herbáceo se ve favorecido por la humedad de que dispone la roca, que en algunas ocasiones tiene goteo de agua continuado durante aproximadamente todo el año.

1.3. Metodología y objetivos

Según los estudios realizados en zonas de Europa y España y la vinculación entre los factores meteorológicos y los movimientos en masa, la importancia de los factores desencadenantes varía según el tipo de movimiento que se vaya a analizar.

Los agentes desencadenantes posibles de los procesos de inestabilidad superficial son variados. Pueden deberse a factores locales aunque con carácter general las precipitaciones intensas se citan como el agente desencadenante principal.

En el presente estudio la metodología general seguida consta de cuatro fases:

- *Prospectiva previa.* La base para enfocar la investigación, y por tanto para iniciar la búsqueda de la información relativa al tema ha sido el Proyecto Final de Carrera “Aplicación del estudio de susceptibilidad a la minimización del riesgo debido a los movimientos en masa en el Valle (Toledo) (Beatriz Roig Ruiz, 2004) y los acontecimientos ocurridos en la vía desde la adopción de medidas correctoras por la empresa Geocisa S.A. en 2004 hasta hoy.

Esta información ha sido útil inicialmente para analizar la situación de la carretera. Se estudia el número total de desprendimientos ocurridos desde el período 1997 al 2009 haciendo hincapié fundamentalmente en los últimos 5 años. Se analiza la zona de localización planteándose, por los datos recopilados inicialmente, la posibilidad de ampliar la zona de estudio a dos zonas más.

Según una de las conclusiones del PFC (3. Discusión y conclusiones, página 80), *“El desencadenante en los procesos gravitacionales puede ser variado..., aunque de acuerdo al estudio realizado, las precipitaciones pueden definirse como el desencadenante fundamental debido a...”* y por el cambio del clima y en consecuencia del régimen de precipitaciones, se considera de interés estudiar la vinculación y relación entre ambos parámetros.

Este planteamiento requiere recopilar información relativa al número de desprendimientos y localización, datos meteorológicos, estudios científicos de otras vías de comunicación, estudios geológicos realizados para la construcción de la carretera y cualquier otra documentación que aporte nuevos conocimientos.

Las instituciones consultadas y que han facilitado información son el Excmo. Ayuntamiento de Toledo, el Cuerpo de Bomberos, la Estación Meteorológica de la ciudad de Toledo a través de la Agencia Estatal de Meteorología, Departamento de Ingeniería Geológica y Minera de la Universidad de Castilla-La Mancha, Departamento de Geología de la Universidad de Barcelona, la empresa Geocisa S.A. y Orbis terrarum y periódicos locales.

El Excmo. Ayuntamiento de Toledo ha facilitado la comunicación con la empresa Geocisa y a puesto a disposición los informes del personal técnico sobre los eventos y actuaciones a acometer. El Cuerpo de Bomberos de Toledo ha suministrado los partes de intervención en la zona desde el 2004 hasta diciembre de 2009 y los periódicos locales (ABC Toledo, la Tribuna, el Día de Toledo, Global Castilla-La Mancha entre otros) han constatado su ocurrencia y en algunas ocasiones concretado la zona donde se produjo. La Estación Meteorológica de Toledo a través del servicio de datos meteorológicos ha proporcionado datos termométricos y pluviométricos para el período de estudio. De gran interés han sido los diversos artículos científicos de la Universidad de Barcelona así como el material divulgativo consultado sobre el tema y por último la empresa Geocisa y su consultora Orbis terrarum se ha ofrecido a colaborar en la medida de lo posible con el estudio a través de consultas, visitas al campo conjuntas, etc.

- *Trabajo de campo.* Se ha realizado durante los meses de Mayo y Junio y posteriormente en Octubre para delimitar la zona de estudio y tomar datos del terreno. No obstante y de acuerdo a los acontecimientos, las salidas al campo han sido continuadas a lo largo del año.

Concretamente, se ha estudiado el tipo de material de las zonas ampliadas para realizar un mapa geológico completo de la zona y se ha verificado según la zonificación, donde se ha producido la caída de rocas durante los últimos años. Las referencias quedan recogidas en el inventario (ver apartado 2.2.).

- *Trabajo de laboratorio.* Los datos recopilados en fases anteriores se utilizan para realizar:
 - Inventario cronológico y espacial de los desprendimientos: se continúa el inventario existente y se amplía desde el 2004 al 2009.
 - Relaciones entre desprendimientos y datos meteorológicos: se relacionan los datos meteorológicos (precipitación anual, mensual, máxima del mes, día de la precipitación máxima, lluvia efectiva) desde 1997 al 2009 con los desprendimientos.
- *Síntesis general.* Se discutirán los datos planteados y se estudiarán los eventos ocurridos por la lluvia y los que no, estableciéndose en caso de que sea posible medidas que eviten la generación o reduzcan el riesgo de los mismos.

Con todo ello, el **objetivo** del análisis es por un lado, establecer una relación entre los desprendimientos y sus posibles factores meteorológicos desencadenantes extrapolando los datos de eventos que existen inventariados con las precipitaciones para determinar el comportamiento que tienen las lluvias como desencadenante de este tipo de movimientos en masa y estudiar otros parámetros climáticos de interés como la temperatura y los ciclos de hielo y deshielo para valorar su influencia. Y por otro, establecer medidas que pudieran acometerse en períodos previsibles de fuertes lluvias antes del evento.

2. ANÁLISIS DE FACTORES METEOROLÓGICOS Y DESPRENDIMIENTOS

2.1. Introducción

Existen procesos en la naturaleza que implican riesgos, como es el caso de los movimientos de ladera. Los periódicos registran noticias referentes a desprendimientos, deslizamientos, aludes, etc. continuamente, que cobran interés cuando las consecuencias de éstos son devastadoras.

Recientemente y durante el 2009 titulares como por ejemplo “Un desprendimiento corta la línea de EuskoTren entre Deba y Zumaia ocasionado por las fuertes lluvias registradas en las últimas horas en Guipuzcoa”; “Sigue cortada la A-52 en A Gudiña a causa del desprendimiento que sufrió ayer un talud por la degradación del suelo de pizarra debido a la intensidad de las lluvias, el frío y las nevadas del invierno”; “Completamente desierto desde el lunes está el pueblo siciliano de San Fratello, situado en las laderas del monte Nebrodi por deslizamiento de tierras después de las lluvias caídas en los últimos días en la región” han llenado las portadas de periódicos internacionales y nacionales.

La construcción de nuevas vías de comunicación y la proliferación de la edificación en zonas de notoria dinámica natural durante los últimos años, ha acelerado la generación de movimientos de ladera en estas zonas. La evolución natural de las laderas puede ir asociado a desprendimientos, deslizamientos, corrientes de derrubios, etc. pero la intervención humana está acelerándolos o desencadenándolos.

Desprendimientos, deslizamientos y otros movimientos se están produciendo con relativa frecuencia generando un riesgo elevado.

Determinar el concepto de riesgo es por tanto, un parámetro de gran utilidad. Dada la multidisciplinariedad, la fórmula propuesta para establecer la evaluación del riesgo es la enunciada por la UNDRO y UNESCO (1972) que expresa el riesgo como el producto de la exposición, peligrosidad y vulnerabilidad.

$$R_t = E \cdot H \cdot V$$

donde: R_t es el riesgo total; E (exposición), indica las vidas o bienes expuestos, la peligrosidad (hazards, H) la probabilidad de que se produzca un evento en un cierto intervalo de tiempo y, V (vulnerabilidad) la incidencia de cada fenómeno.

La representación de este concepto en mapas constituye una herramienta eficaz para la mitigación de los daños asociados a estos procesos sobre todo, si se incorporan a los proyectos de ingeniería y la planificación del territorio.

Para elaborar los mapas de riesgo total es esencial cartografiar las zonas de susceptibilidad. Éste concepto da a conocer aquellas zonas de un territorio que están o pueden estar bajo la acción de un proceso determinado y su análisis se lleva a cabo

mediante el establecimiento de una relación entre los factores condicionantes y los desencadenantes. Los primeros o internos dependen de la propia naturaleza, estructura y forma del terreno mientras que los desencadenantes, son factores externos y generalmente los más importantes son las precipitaciones, la modificación de la geometría, la erosión, los cambios en las condiciones hidrogeológicas y los terremotos siendo algunos de ellos consecuencia de acciones antrópicas.

Con carácter general, las precipitaciones se citan como el agente desencadenante principal ya que la presencia del agua aumenta el peso de la masa inestable, eleva las presiones intersticiales, reblandece el terreno, etc. Cuando las precipitaciones son elevadas la probabilidad de ocurrencia de desprendimientos es mayor. La figura 7 muestra una gráfica con forma similar para las precipitaciones y los desprendimientos pero por el contrario las precipitaciones y la temperatura tienen una relación inversamente proporcional.

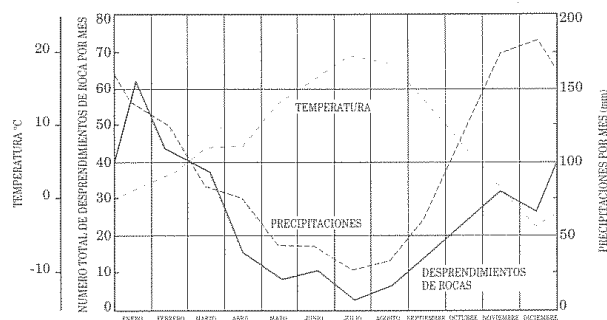


Figura 2.2. Efecto de las estaciones del año en los desprendimientos de rocas

Figura 7. Efecto de las estaciones del año en los desprendimientos (Ministerio de Fomento, 2005)

El cambio en los patrones de la temperatura, las precipitaciones, los ciclos de hielo y deshielo, etc. genera inestabilidad en la tendencia del clima. Durante los últimos años las olas de frío y las nevadas, las intensas lluvias, los cambios bruscos de temperatura ha generado que se analice su relación con el incremento de los movimientos de ladera, concretamente con los desprendimientos.

Según varios artículos científicos sobre la relación entre los factores meteorológicos y los movimientos en masa (Flageollet, 1999.; Pasuto and Silvano, 1998.; Corominas and Moya, 1999.; Fernández, 2004) se discute si existe o no una vinculación directa del número de eventos con las lluvias caídas 24 horas o días antes. Los trabajos realizados por Pasuto y Silvano así como el de Corominas y Moya defienden que hay una relación entre períodos cortos de lluvia intensa y la caída de rocas o bloques.

Corominas y Moya (1996) establecen para desprendimientos superficiales un valor límite de precipitación de 112 mm para un período de 24 horas por debajo del cual

no se producen caídas, y un umbral de 200 mm por encima del cual se generan desprendimientos. Entre 160 y 200 mm se requiere estudiar otra serie de parámetros como por ejemplo la intensidad de precipitación y el tiempo que duró ésta. Para esta clasificación las precipitaciones deben haber ocurrido en forma de tormentas o lluvias torrenciales.

Estos autores defienden posteriormente (1999) que en ausencia de lluvias unos valores de precipitación de 190 mm para un período de tiempo de 24 horas produce desprendimientos de pequeño tamaño mientras que por encima de 300 mm los eventos tienen mayores dimensiones.

Pasuto y Silvano en su estudio en el NE de Italia (1998) define un período de 15 días lluviosos previos como el período más efectivo para el desencadenamiento de desprendimientos de rocas. Este período de tiempo escogido a lo que llamamos período de lluvia efectiva, se define como el intervalo de tiempo cuya lluvia acumulada es causa de inestabilidad en una ladera. Aquél, al mismo tiempo se caracteriza por tener máximos de lluvia descargados en el intervalo de uno o dos días inmediatamente antes de la inestabilidad.

El mínimo valor encontrado que provoca inestabilidad de acuerdo a los estudios se marca en 50-60 mm/10 días (Flageollet, 1999).

La metodología general para estudiar si en realidad las precipitaciones son el desencadenante principal de los desprendimientos y corroborar las afirmaciones de PFC (Roig, B. 2004) “El desencadenante en los procesos gravitacionales puede ser variado...., aunque de acuerdo al estudio realizado, las precipitaciones pueden definirse como el desencadenante fundamental debido a...”. es la siguiente:

1. Distribución espacial y temporal de los fenómenos gravitacionales: inventario.
2. Relación y análisis entre desprendimientos y datos meteorológicos: analizar las precipitaciones anuales, mensuales y establecer los períodos de lluvia efectiva para el número de eventos ocurridos.
3. Análisis de desprendimientos no relacionados con la lluvia
4. Validación sobre la base de la observación directa de eventos para años sucesivos

2.2. Inventario cronológico y espacial de los desprendimientos

Resulta de utilidad conocer las zonas más propensas a estar bajo la acción de la caída de rocas y las zonas más afectadas por los desprendimientos y para ello se han inventariado cada uno de los eventos ocurridos y se ha analizado su distribución cronológica y su distribución espacial.

Sobre la base de la tabla 4 del PFC (BRR, 2004) y hasta el año 2009 se han inventariado todos los desprendimientos ocurridos en la Carretera de Circunvalación. De igual forma que en la ocasión anterior, los artículos de prensa y los partes de intervención del Cuerpo de Bomberos han facilitado en su mayoría el día, hora aproximada, lugar e incluso el tamaño de los bloques caídos.

La observación directa en el terreno ha permitido conocer de primera mano los desprendimientos que se han producido y apoyado con los partes de intervención de los bomberos, se ha ampliado la zona de estudio respecto del año 2004. Al norte y sur del ámbito de estudio se han registrado y comprobado un total de 10 desprendimientos, un 29% del total (1997-2009) y el 50% de estos han ocurrido en los últimos 4 años. Estos porcentajes se consideran aceptables para incluir estas zonas en el ámbito del análisis.

Es importante resaltar que no hay conocimiento de aquellos desprendimientos que, habiéndose producido, no afectaron a la vía. Los bomberos o la prensa pueden no haber considerado desprendimientos de bloques pequeños (10 o 20 cm).

La tabla 1 recoge el total de desprendimientos ocurridos durante el período de 1997 - 2009. El análisis indica que se han producido 37 eventos de los cuales, 22 eventos han tenido lugar en los últimos cuatro años (2005-2009). Se incluyen los ocurridos en enero de 2010 para contrastar con los resultados y validar las conclusiones.

Tabla 1. Inventario de los desprendimientos en la zona de actuación

Nº	Día	Hora	Localización
1	09/01/1997	a.m.	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)
2	16/03/1999	p.m. (22:30 aprox)	Puente Alcántara (principio del puente)
3	24/10/1999	a.m. (6:00 aprox)	Puente Arroyo de la Degollada
4	06/04/2002	p.m. (19:30 aprox)	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)
5	13/11/2002	p.m. (21:00 aprox)	Puente Arroyo de la Degollada
6	19/12/2002	p.m. (13:00 aprox)	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)
7	10/03/2003	p.m. (22:00 aprox)	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)
8	30/07/2003	a.m. (10:00 aprox)	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)
9	30/09/2003	p.m. (19:00 aprox)	Ctra. Circunvalación (después de la zona de bulones)
10	11/12/2003	p.m. (16:00 aprox)	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)
11	12/12/2003	p.m. (19:00 aprox)	Ctra. Circunvalación (frente a la Ermita)

12	29/03/2004	a.m. (5:30 aprox)	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)
13	29/03/2004	a.m. (10:00 aprox)	Ctra. Circunvalación (después de la zona de bulones)
14	28/04/2004	p.m. (17:00 aprox)	Puente Alcántara (principio del puente)
15	25/05/2004	p.m.	Ctra. Circunvalación (próximo a la zona bulonada)
16	27/12/2005	a.m. (11:20 aprox)	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)
17	25/02/2006	p.m. (19:00 aprox)	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)
18	24/04/2006	a.m. (11:00 aprox)	Ctra. Circunvalación, frente a la Ermita
19	14/09/2006	p.m. (16.20 aprox)	Ctra. Circunvalación, próximo al Restaurante La Cubana
20	20/10/2006	-	Ctra. Circunvalación, frente a la Ermita
21	13/12/2006	p.m. (19:10 aprox)	Ctra. Circunvalación, frente a la Ermita
22	7/03/2007	p.m. (13:00 aprox)	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)
23	12/05/2007	p.m. (21:45 aprox)	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)
24	16/06/2007	a.m. (9:20 aprox)	Ctra. Circunvalación (P.K. 0+400)
25	18/06/2007	a.m. (8:20 aprox)	Ctra. Circunvalación (zona estudio 2004)
26	21/07/2007	a.m. (11:05 aprox)	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)
27	1/10/2007	a.m. (0:02 aprox)	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)
28	10/02/2008	p.m. (19:10 aprox)	Ctra. Circunvalación (zona estudio 2004)
29	12/02/2008	a.m. (9:30 aprox)	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)
30	1/04/2008	p.m. (12:00 aprox)	Ctra. Circunvalación (zona IV)
31	11/10/2008	p.m. (21:15 aprox)	Ctra. Circunvalación (varias zonas: zona VII B)
32	28/10/2008	p.m. (17:50 aprox)	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)
33	10/08/2009	p.m. (23:00 aprox)	Ctra. Circunvalación, próximo al Restaurante La Cubana
34	17/09/2009	a.m. (11:20 aprox)	Ctra. Circunvalación, frente a la Ermita
35	7/10/2009	p.m.	Ctra. Circunvalación, frente a la Ermita y próximo al Restaurante La Cubana
36	16/12/2009	p.m. (21:30)	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)
37	29/12/2009	p.m.	Ctra. Circunvalación, frente a la Ermita y alrededores
38	8/01/2010	a.m.	Ctra. Circunvalación, zona VIII.
39	23/01/2010	p.m. (14:30 aprox)	Ctra. Circunvalación, zona II

La distribución espacial se recoge en la figura 8 y 9.

En la figura 8 se observa que el número de desprendimientos a lo largo de los 12 años no tiene una tendencia uniforme. Existen años con mayor número de eventos que otros, donde el año 2007 es el año que registra más número de desprendimientos con un total de 6. Señalar que el año posterior a la instalación de las medidas de consolidación, 2005, apenas se registran eventos. Sin embargo, a partir del 2006 el número de eventos aumenta y la tendencia muestra un nivel continuo a lo largo de los años.

Cabe plantearse la influencia que ha tenido la intervención humana en la carretera. A partir de la adopción de las medidas de estabilización los desprendimientos debían haber disminuido o minimizado y sin embargo, el nº se ha incrementado.

El mes de Diciembre es el mes con mayor número de desprendimientos, seguido de octubre, marzo y abril (Figura 9).

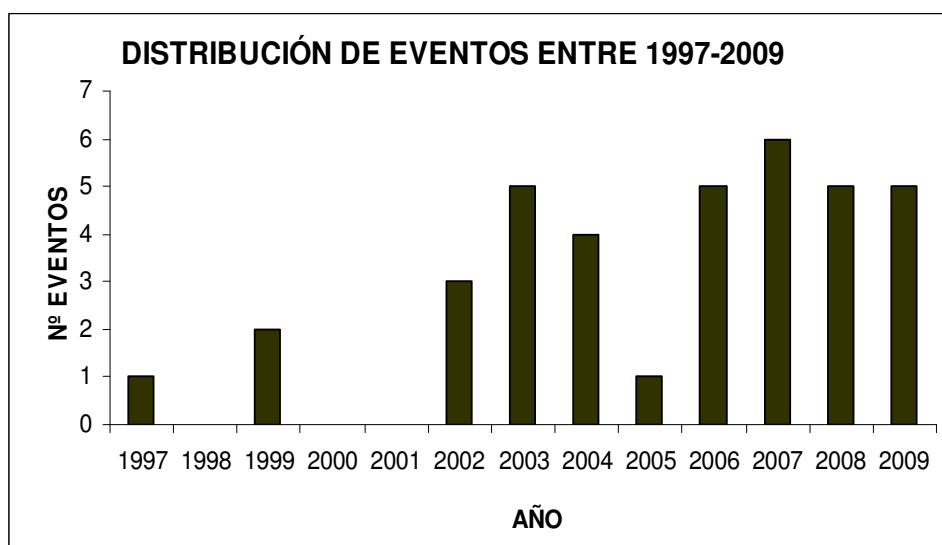


Figura 8. Distribución anual de eventos entre los años 1997 – 2009

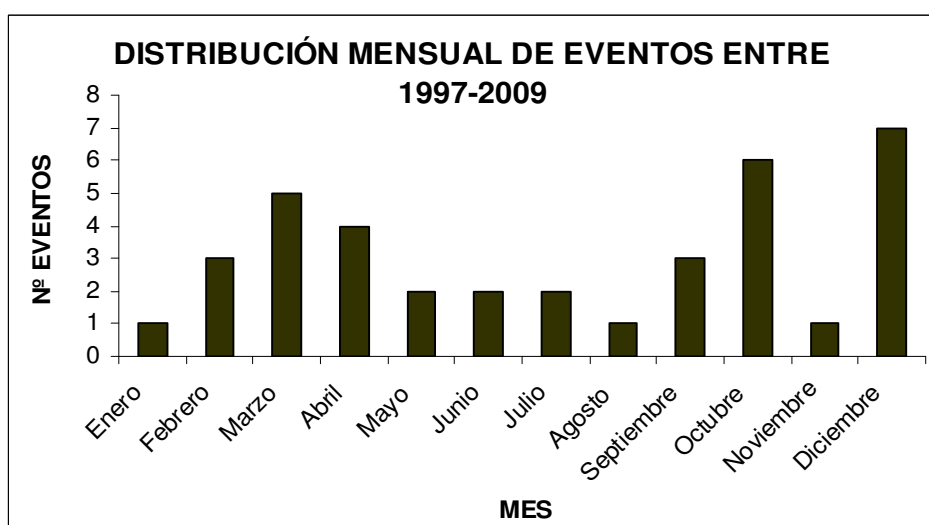


Figura 9. Distribución mensual de eventos entre los años 1997 – 2009

En el tramo de la vía afectado por desprendimientos existen zonas con mayor susceptibilidad y por tanto mayor riesgo de caída de piedras, bloques, etc. y otras con menos. En la figura 10 se ha localizado cada desprendimiento de acuerdo a los datos disponibles de la tabla 1. Se han marcado los puntos con información concreta sobre su localización, de forma que todos los que no se especifica zona no se reflejan en la figura. Se observa una alta concentración de puntos en diversas zonas. El primer grupo con líneas discontinuas de color rojo son los localizados en la zona de estudio según el 2004 mientras que en color azul se han representado aquellos que se localizan fuera de ese ámbito.

En el ámbito de estudio inicial se observa una mayor concentración de desprendimientos entre el punto kilométrico 0+250 y 0+500 aunque existen tramos en la vía donde los desprendimientos se distribuyen uniformemente y están repartidos. Los marcados en color azul representan un 29% respecto del total, además de los 10 desprendimientos que se inventarían 5 han ocurrido en los últimos cuatro años (50%), de forma que la frecuencia de ocurrencia tiene una tendencia estable lo que lleva a pensar que el macizo está reactivándose. De las 2 zonas, en la zona de la ermita se localizan mayor número de eventos, 7 vs. 3.

Zonas	PERÍODO 1997-2004	PERIODO 2005-2009
Ermita	4	3
La Cubana	1	2
Total	5	5

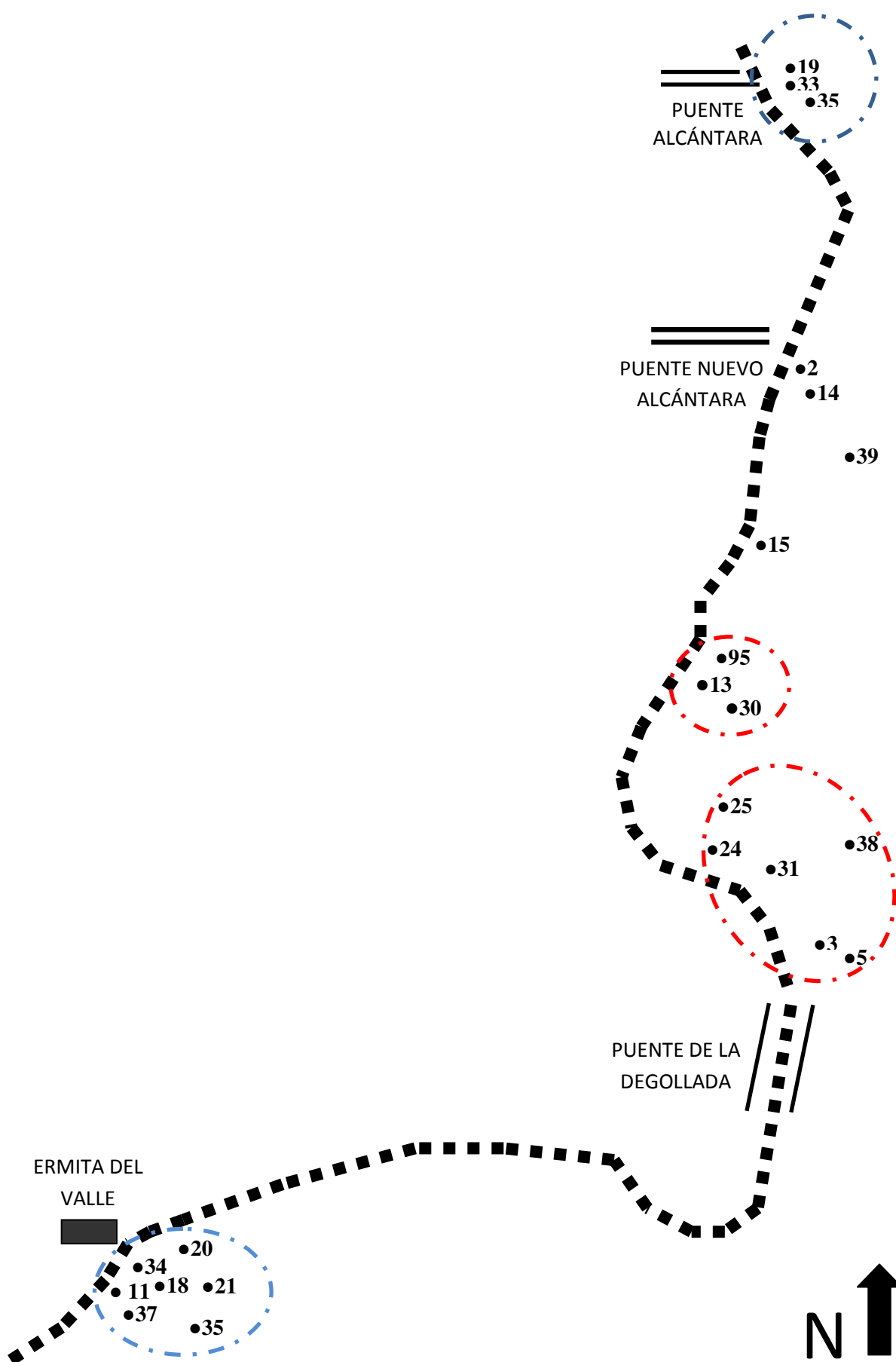


Figura 10. Situación de los eventos en la carretera de Circunvalación

2.3. Relación entre desprendimientos y datos meteorológicos

Los datos meteorológicos utilizados para el estudio proceden de la estación meteorológica de la ciudad de Toledo (Coordenadas geográficas longitud W 4° 1' latitud N 39° 51', 540 m altitud). A través de la Agencia Estatal de Meteorología se han facilitado los datos necesarios para realizar el análisis.

El ensayo ha relacionado los eventos con las precipitaciones anuales y mensuales para el período de 1997-2009 y los eventos con lo que definimos períodos de lluvia efectiva.

Señalar que eventos y nº de actuaciones son lo mismo. Se han tomado diferentes términos que pueden inducir a error o confusión si no se especifica.

2.3.1. Relación eventos y precipitaciones anuales

La relación se lleva a cabo con los valores de precipitación acumulada a lo largo de un año.

La figura 11 muestra que el año con más precipitación corresponde a 1997, seguido de 2008, 2007 y 2006. Por el contrario, el año 2005 es el año con menor registro de precipitaciones. Su relación con el número de eventos no es determinante para establecer una estrecha relación entre los años de mayor precipitación y mayor número de eventos. En el año más lluvioso, 1997 solo tuvo lugar un evento. En el 2002 y 2006 para valores similares de precipitación, el nº de eventos en 2006 aumenta el 100% (de 3 a 6).

No obstante es importante señalar que la tendencia de los últimos años marca una relación que habría que estudiar en los años sucesivos. Los valores de precipitación oscilan entre 300-400 mm y el nº de eventos parece estable, entre 5 y 6.

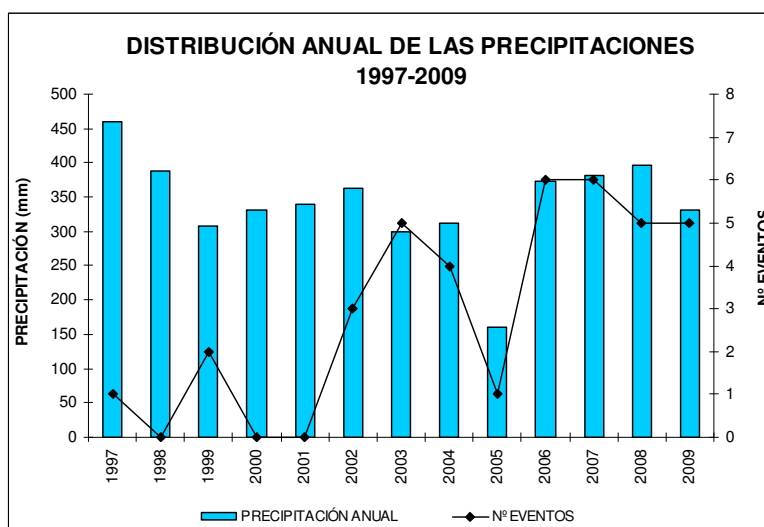
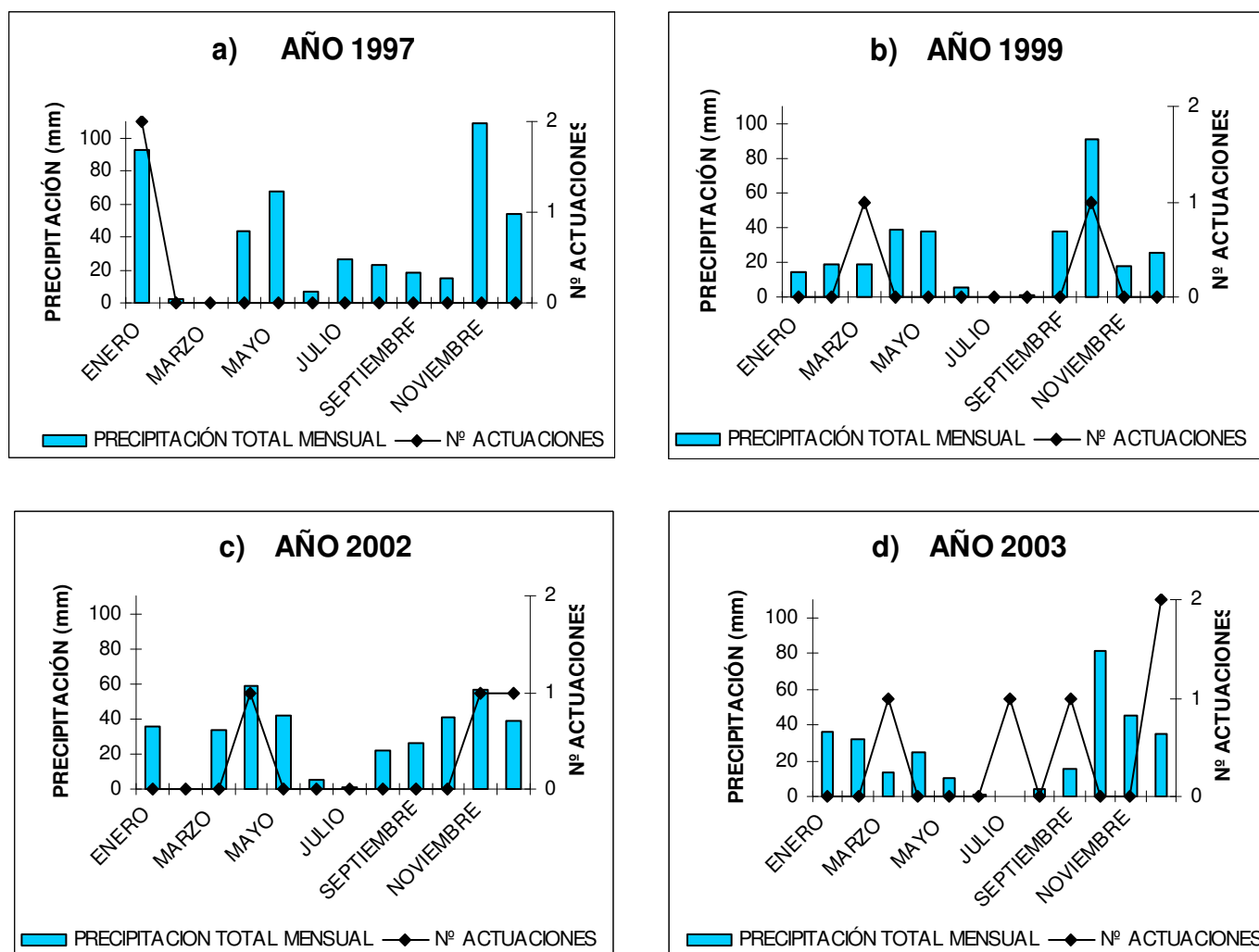


Figura 11. Distribución anual de las precipitaciones 1997-2009

2.3.2. Relación entre eventos y precipitaciones mensuales

Para el período 1997-2009 se estudia la distribución de la precipitación mensual con el número de eventos o actuaciones. Según las diferentes gráficas, no podemos concluir que los meses con mayor precipitación registren mayor número de eventos. Los resultados son indefinidos ya que hay meses con altas precipitaciones y menor número de desprendimientos y otros con escasas precipitaciones y más nº de eventos. Por ejemplo, en abril de 2007 se registran precipitaciones elevadas pero no existen desprendimientos y en febrero de 2008 ocurre lo contrario, las precipitaciones son bajas y tienen lugar dos desprendimientos.

En la figura 12 se muestra la relación de ambas variables. Se realizan representaciones gráficas de los años en los que han tenido lugar desprendimientos. Las gráficas correspondientes desde 1997 al 2004 se han extraído del PFC (Roig, B. 2004) y su escala de precipitación se ajusta a 100 mm mientras que las comprendidas desde el 2005 al 2009 se ha aumentado hasta 160 mm.



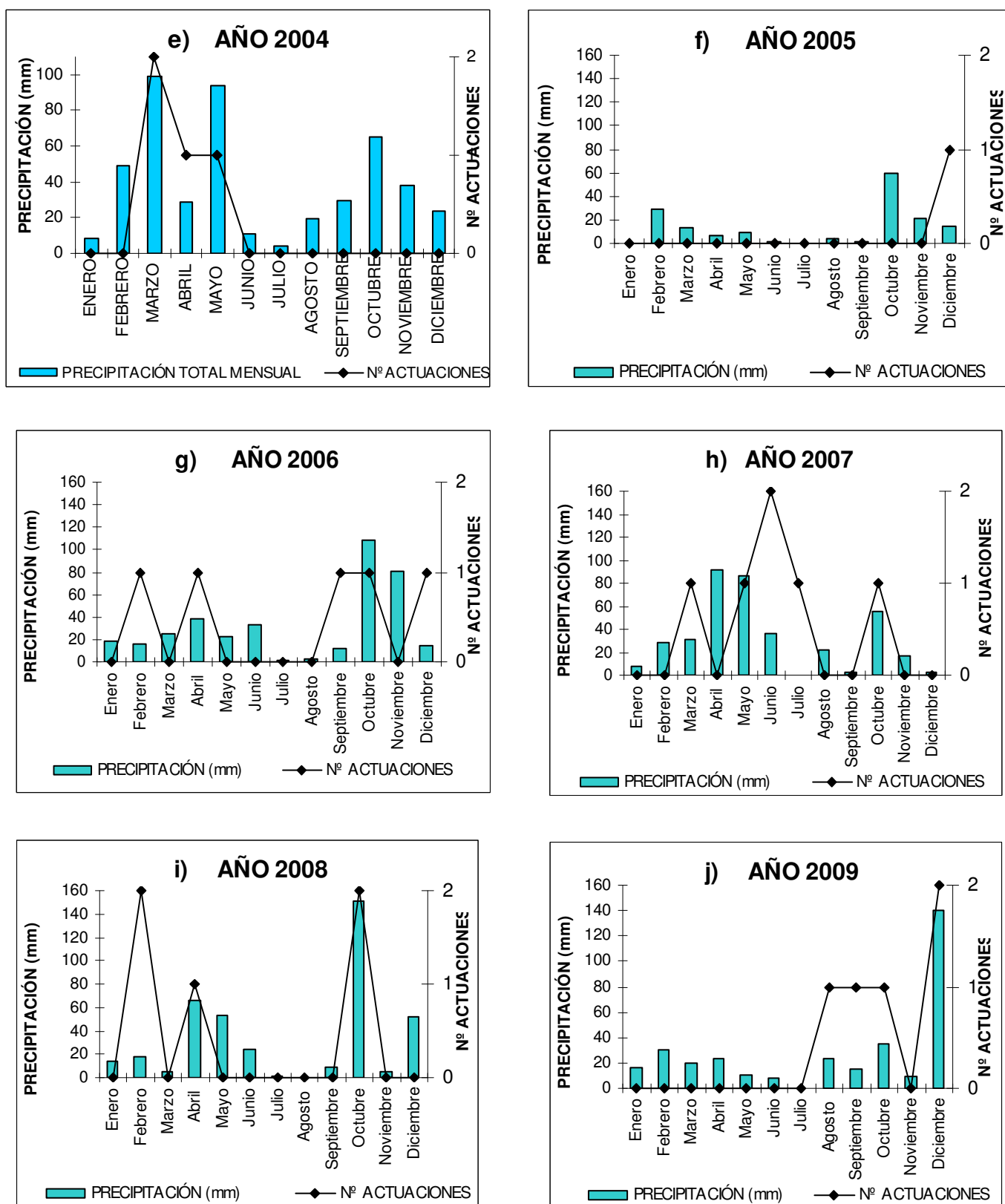


Figura 12. Representaciones gráficas de la precipitación mensual y el número de eventos ocurridos desde los años 1997 a 2009

2.2.3. Relación entre eventos y día de máxima precipitación

El agua de las lluvias produce tanto interior como exteriormente inestabilidad en el terreno. El agua que penetra en el terreno genera cambios lentos en un período de tiempo largo sin embargo, el agua de lluvia o escorrentía que se queda en superficie, puede causar problemas a corto plazo. El papel de éste agua puede generar problemas importantes de estabilidad al crearse altas presiones en las discontinuidades y grietas, sobre todo en la zona más superficial del terreno cuando tienen lugar fuertes tormentas o períodos de largas lluvias. Por tanto, el análisis del día de máxima precipitación y los días posteriores a éste arroja información valiosa para estrechar la relación de la generación de este tipo de eventos y las precipitaciones.

Se ha solicitado a la AEMET el día de máxima precipitación mensual para relacionarlo con la fecha del evento. La tabla 2 define la relación de las variables de estudio. Se marcan aquellos eventos que coinciden con el día más lluvioso del mes y aquellos ocurridos con posterioridad.

De los 37 eventos, 25 han tenido lugar durante el día de máxima precipitación o días posteriores. El resto (12) se han producido con anterioridad al día con más lluvia del mes. De forma que un 67% están relacionados más directamente con las precipitaciones.

De los 25 eventos, 10 de ellos coinciden con el día de máxima precipitación y 15 se producen días posteriores. Un análisis detallado del período posterior al día de máxima lluvia marca la tendencia de que la ocurrencia de desprendimientos tiene lugar en torno a los 5 días posteriores. De los 15, 9 eventos ocurren dentro de los 5 días marcados y el resto entre los 5 y los 15 días.

Relación Evento-precipitación	Nº eventos	%
Evento ≠ Antes día máxima precipitación	12	32,5
Evento = día máxima precipitación	10	27
Evento = 5 días posterior día máxima	9	24,3
Evento = 5 – 15 días posterior día máxima	6	16,2

Se han incluido en la tabla 2 los desprendimientos y datos pluviométricos del mes de Enero de 2010 para evaluar la tendencia que marcan los resultados obtenidos para el período de estudio 1997-2009.

Tabla nº 2. Relación de eventos/desprendimientos con precipitación mensual, en 15 días previos y máxima del mes.

DÍA/ HORA	LOCALIZACIÓN	PRECIPITACIÓN MES (mm)	PRECIPITACIÓN 15 DÍAS (mm)	PRECIPITACIÓN MÁXIMA (mm) / DÍA	OBSERVACIONES
09/01/1997 a.m.	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)	92.4	28.9	29.3 / 23-01-1997	
16/03/1999 p.m. (22:30 aprox)	Puente Alcántara (principio del puente)	18.5	12.3	7.8 / 11-03-1999 ■	
24/10/1999 a.m. (6:00 aprox)	Puente Arroyo de la Degollada	90.8	74.4	19.4 / 22-10-1999 ■	
06/04/2002 p.m. (19:30 aprox)	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)	58.6	18..4	20.6 / 10-04-2002	
13/11/2002 p.m. (21:00 aprox)	Puente Arroyo de la Degollada	56.7	14.8	11.9 / 13-11-2002 *	
19/12/2002 p.m. (13:00 aprox)	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)	39.2	28.8	10.8 / 18-12-2002 ■	
10/03/2003 p.m. (22:00 aprox)	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)	13.7	11.1	5.8 / 27-03-2003	
30/07/2003 a.m. (10:00 aprox)	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)	Inapreciable (< 0.1 mm)	0.1	Inapreciable (< 0.1 mm)/ 20-07-2003 ●	En este caso, no hubo desprendimientos. Los bomberos actuaron para evitar la caída de piedras a la carretera.
30/09/2003 p.m. (19:00 aprox)	Ctra. Circunvalación (después de la zona de bulones)	15.4	15.4	15.2 / 30-09-2003 *	La caída de piedras se registra como de grandes dimensiones. Se adjuntan fotografías en anexo
11/12/2003 p.m. (16:00 aprox)	Ctra. Circunvalación (frente a la Ermita)	35.4	32.5	17.5 / 09-12-2003 ■	La caída de piedras se registra como de grandes dimensiones. Se adjuntan fotografías en anexo
12/12/2003 p.m. (19:00 aprox)	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)	35.4	32.5	17.5 / 09-12-2003 ■	

* El desprendimiento coincide con el día de mayor precipitación registrada en el mes.

■ El desprendimiento se produjo en los 5 días posteriores al día de mayor precipitación registrada en el mes

● El desprendimiento se produjo en los 5 - 15 días posteriores al día de mayor precipitación registrada en el mes

DÍA/ HORA	LOCALIZACIÓN	PRECIPITACIÓN MES (mm)	PRECIPITACIÓN 15 DÍAS (mm)	PRECIPITACIÓN MÁXIMA (mm) / DÍA	OBSERVACIONES
29/03/2004 a.m. (5:30 aprox)	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)	99.3	65	26.7 / 29-03-04 *	Corrimiento de piedra y arena
29/03/2004 a.m. (10:00 aprox)	Ctra. Circunvalación (después de la zona de bulones)	99.3	65	26.7 / 29-03-04 *	La caída de piedras se registra como de grandes dimensiones (0.5–1 m ³). <i>Se adjuntan fotografías en el anexo</i>
28/04/2004 p.m. (17:00 aprox)	Puente Alcántara (principio del puente)	28.4	9.7	15.8 / 1-04-04	Corrimiento de piedra y arena.
25/05/2004 p.m.	Ctra. Circunvalación (próximo a la zona bulonada)	94.1	57.5	36/11-05-04 •	
27/12/2005 a.m.	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)	15.2	4.3	7.6 / 1-12-05	
25/02/2006 p.m.	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)	15.6	12.3	7.5 / 25-02-06 *	
24/04/2006 a.m.	Ctra. Circunvalación, frente a la Ermita	38.6	25.5	12.4 / 22-04-06 ■	
14/09/2006 p.m.	Ctra. Circunvalación, próximo al Restaurante La Cubana	11.6	10.6	4.7 / 9-09-06 •	
20/10/2006 -	Ctra. Circunvalación, frente a la Ermita	108.7	86.3	50.2 / 17-10-06 ■	
13/12/2006 p.m.	Ctra. Circunvalación, frente a la Ermita	15.1	14.2	9.9 / 5-12-06 •	
7/03/2007 p.m.	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)	30.5	2.1	14.7 / 31-03-07	
12/05/2007 p.m.	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)	86.0	25.4	34 / 22-05-07	

* El desprendimiento coincide con el día de mayor precipitación registrada en el mes.

■ El desprendimiento se produjo en los 5 días posteriores al día de mayor precipitación registrada en el mes

• El desprendimiento se produjo en los 5 - 15 días posteriores al día de mayor precipitación registrada en el mes

DÍA/ HORA	LOCALIZACIÓN	PRECIPITACIÓN MES (mm)	PRECIPITACIÓN 15 DÍAS (mm)	PRECIPITACIÓN MÁXIMA (mm) / DÍA	OBSERVACIONES
16/06/07 a.m.	Ctra. Circunvalación (P.K. 0+400)	35.9	33.4	13.6 / 14-06-07 ■	Bloque de 6,5 Ton. Intervención de empresa GEOCISA <i>Se adjuntan fotografías del tamaño de bloques y consecuencias en anexo</i>
18/06/07 a.m.	Ctra. Circunvalación (zona estudio 2004)	35.9	36	13.6 / 14-06-07 ■	Pequeños bloques
21/07/07 a.m.	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)	0.6	0.6	0.6 / 7-07-07 ●	
1/10/07 a.m.	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)	55.5	10.3	25.5 / 3-10-07	
10/02/08 p.m.	Ctra. Circunvalación (zona estudio 2004)	17.2	2.7	4.7 / 23-02-08	Revisión de algunos tramos
12/02/08 a.m.	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)	17.2	2.7	4.7 / 23-02-08	Revisión de algunos tramos y comunicación al Ayuntamiento de la situación
1/04/08 p.m.	Ctra. Circunvalación (zona estudio 2004)	65.9	4.3	16.4 / 17-04-08	Tamaño de bloque pequeño
11/10/08 p.m.	Ctra. Circunvalación (varias zonas: zona VII B)	151	90.8	89.6 / 11-10-08 *	Se realizan varias intervenciones, una de ellas está localizada en zona VII B. Geocisa repara la malla dañada Carretera cortada hasta el 22 de Noviembre
28/10/08 p.m.	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)	151	43.8	89.6 / 11-10-08 ●	
10/08/09 p.m.	Ctra. Circunvalación, próximo al Restaurante La Cubana	23.3	23.3	23.3 / 10-08-09 *	

* El desprendimiento coincide con el día de mayor precipitación registrada en el mes.

■ El desprendimiento se produjo en los 5 días posteriores al día de mayor precipitación registrada en el mes

● El desprendimiento se produjo en los 5 - 15 días posteriores al día de mayor precipitación registrada en el mes

DÍA/ HORA	LOCALIZACIÓN	PRECIPITACIÓN MES (mm)	PRECIPITACIÓN 15 DÍAS (mm)	PRECIPITACIÓN MÁXIMA (mm) / DÍA	OBSERVACIONES
17/09/09 a.m.	Ctra. Circunvalación, frente a la Ermita	15.7	13.6	9.4 / 17-09-09 *	
7/10/09 p.m.	Ctra. Circunvalación, frente a la Ermita y próximo al Restaurante La Cubana	34.9	15.1	13.7 / 7-10-09 *	
16/12/09 p.m.	Ctra. Circunvalación (no se especifica zona)	140	15.5	34.4 / 29-12-09	
29/12/09 p.m.	Ctra. Circunvalación, frente a la Ermita y alrededores	140	119.6	34.4 / 29-12-09 *	<i>Se adjuntan fotografías en el anexo</i>
8/01/10	<i>Ctra. Circunvalación, zona VIII.</i>	54.8	107.1	20.1 / 7-01-10 ■	<i>El muro que separaba las zonas VII- B y zona IX fue destruido por varios bloques que cayeron de las zonas superiores (zona VIII)</i>
23/01/10 p.m.	<i>Ctra. Circunvalación, zona VIII</i>	54.8	18.6	20.1 / 7-01-10 •	<i>La carretera se corta sin previsión de apertura Se adjuntan fotografías en el anexo</i>

* El desprendimiento coincide con el día de mayor precipitación registrada en el mes.

■ El desprendimiento se produjo en los 5 días posteriores al día de mayor precipitación registrada en el mes

• El desprendimiento se produjo en los 5 - 15 días posteriores al día de mayor precipitación registrada en el mes

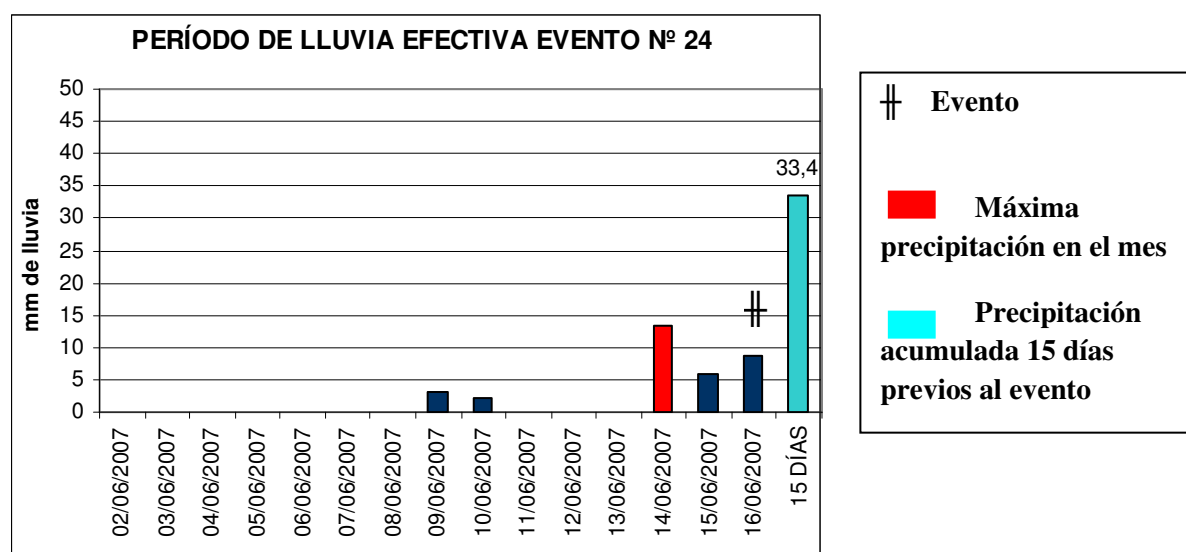
2.2.4. Relación entre eventos y períodos de lluvia efectiva

Hidrológicamente, el período de lluvia efectiva o útil se define como aquella fracción de la precipitación total que es aprovechada por las plantas. Depende de múltiples factores como pueden ser la intensidad de la precipitación o la aridez del clima, y también de otros como la inclinación del terreno, contenido en humedad del suelo o velocidad de infiltración.

Para riesgos geológicos también se define como, el intervalo de tiempo cuya lluvia acumulada es causa de inestabilidad en una ladera. Éste al mismo tiempo, debe tener máximos de lluvia descargados en el intervalo de uno o dos días inmediatamente antes de la inestabilidad. Se considera la suma de precipitaciones acumuladas en un período de 15 días previo al desprendimiento.

Para establecer éste período se requiere relacionar los desprendimientos con las precipitaciones mensuales y las precipitaciones acumuladas quince días antes. La relación se ha desarrollado en la tabla nº 2, en el apartado anterior.

A partir del día del evento y con los datos de precipitaciones 15 días previos al mismo se han representado gráficamente cada uno de los 37 eventos. En el anexo se recogen las gráficas. A modo de ejemplo se agrega la siguiente:



La gráfica recoge las precipitaciones registradas 15 días con anterioridad al evento. La barra de color rojo indica el día de máxima precipitación del mes del evento, las barras de color azul oscuro la precipitación diaria (24 horas) y la barra de color azul claro la precipitación acumulada. En este caso, el período se ha calculado para el evento nº 24 y su valor de precipitación en 15 días es de 33,4 mm.

Considerar las siguientes observaciones cuando se analicen las gráficas de períodos de lluvia efectiva:

1. Señalar que si las gráficas no tienen columnas de color rojo significa que la máxima precipitación diaria en el mes no se ha producido en los 15 días previos. (Por ejemplo, la gráfica nº 16 y 23)
2. Si en una gráfica se observa que la columna que indica las precipitaciones máximas de color rojo no es la más elevada indicar que es la máxima del mes y las otras aún siendo más altas, son del mes anterior. (Por ejemplo, la gráfica del evento nº 38)

Analizados todos los eventos se pueden ver diferentes tendencias o escenarios:

1. Períodos de quince días con días de lluvia y días sin lluvia, pero con máximos entre 1 y 2 día antes del evento.(Figura evento 37)
2. Períodos de quince días donde la lluvia acumulada final tiene su concentración al final del período de estudio, entre 1 y 5 días antes del evento (Figura evento 12)
3. Períodos de quince días donde la lluvia acumulada final tiene su concentración al final del período de estudio y donde el día de máxima precipitación mensual coincide con el día del desprendimiento (Figura evento 31)
4. Períodos de quince días donde la lluvia se produce durante los primeros días pero posteriormente no hay registro de precipitaciones.(Figura evento 15)

Los desprendimientos se han clasificado según si las precipitaciones de 15 días estaban por encima o debajo de 50 mm (Tabla 3). Este nivel de 50 mm/15 días se ha escogido de acuerdo a la bibliografía consultada ya que niveles de 50-60 mm/ 10 días es el mínimo valor encontrado que provoca inestabilidad.

De los 37 eventos, el 18,9% (7 eventos) se relacionan con el período de lluvia efectiva. Los eventos 12, 13, 31 y 37 se comportan de acuerdo al escenario nº 3 planteado con anterioridad, el 3 y 20 como el nº 2 y por último el evento 15 se asemeja a la tendencia 4. El 38 que se ha producido en el 2010 viene a corroborar la posible relación con las lluvias de acuerdo al patrón 2.

Por tanto el 18,9% de los desprendimientos correspondería a los que están desencadenados por la lluvia y el resto, 81,1% (30 eventos) a los que no lo están.

Gráficamente (figura 13) se observan los 7 eventos que están por encima del valor de 50 mm y el resto por debajo. El 38 y 39 están en color verde ya que no están incluidos en el análisis pero se utilizan para comprobar las hipótesis y corroborar los resultados obtenidos. De forma que se muestra como el evento 38 tiene un valor por encima de 50 mm, concretamente de 107,1 mm y por tanto la lluvia puede ser el posible factor desencadenante del evento.

Tabla 3. Eventos y período de lluvia efectiva

Nº EVENTO	PRECIPITACIÓN 15 DÍAS (mm)
1	28,9
2	12,3
3	74,4
4	18,4
5	14,8
6	28,8
7	11,1
8	0,1
9	15,4
10	32,5
11	32,5
12	65
13	65
14	9,7
15	57,5
16	4,3
17	12,3
18	25,5
19	10,6
20	86,3
21	14,2
22	2,1
23	25,4
24	33,4
25	36
26	0,6
27	10,3
28	2,7
29	2,7
30	4,3
31	90,8
32	43,8
33	23,3
34	13,6
35	15,1
36	15,5
37	119,6
38	107,1
39	18,6

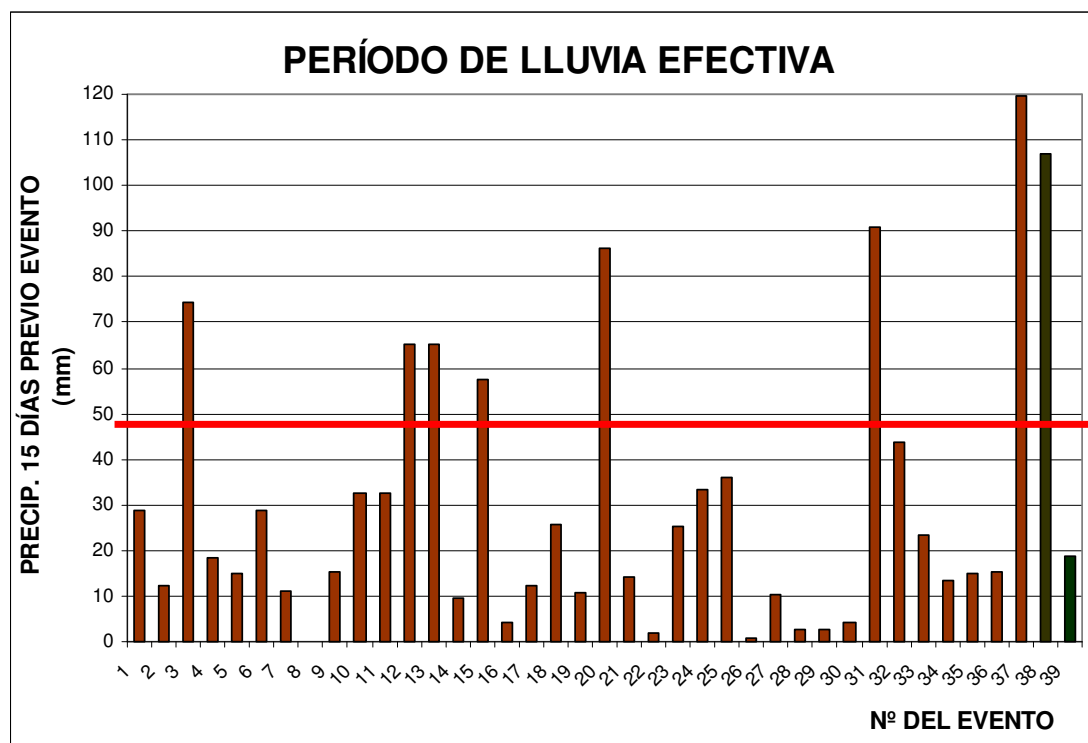


Figura 13. Períodos de lluvia efectiva

2.2.5. Desprendimientos no relacionados con la lluvia

Los desprendimientos con lluvias inferiores a 50 mm/15 días se han descartado a la hora de determinar a la lluvia como el desencadenante.

Al descartar la lluvia se debe estudiar la influencia de la temperatura en la inestabilidad del talud. El análisis de las temperaturas máximas y mínimas diarias registradas en los días anteriores al evento, dan a conocer si existen o no ciclos de hielo y deshielo. La formación de hielo provoca un aumento de volumen que afecta al macizo rocoso por el fenómeno denominado efecto gato, generando una presión externa a los bloques o masas rocosas, produciendo una mayor fracturación y meteorización. Por el contrario, el deshielo incrementa el agua presente en el macizo y por tanto se produce un efecto similar al de precipitación.

Se han tomado 15 días previos al evento al igual que para el cálculo del período de lluvia efectiva. En el anexo se recogen las gráficas que muestran la temperatura media diaria para los 15 previos al evento así como las máximas y mínimas. Se han realizado gráficas para el total de eventos aunque se han descartado del análisis los eventos relacionados con la lluvia según el apartado anterior. El nº de eventos objeto de estudio es de 30.

Respecto a la evolución de la temperatura media diaria antes de que se produzcan los desprendimientos, para un 49% de éstos, las temperaturas oscilan alrededor de los 5-10° C y un 19% entre los 10-15° C. Por tanto la mayoría de los eventos, en torno al 70%, giran en torno a esta franja de temperatura. Solo un evento se produce con temperaturas más bajas, entre 0-5° C y el resto con temperaturas mayores (entre 15-20° C y 25-30° C).

No se aprecia un descenso brusco de la temperatura antes del evento, solo para 10 se observa una disminución progresiva.

Si distinguimos según las estaciones del año para evaluar concretamente la temperatura, en invierno se producen 8 eventos, en primavera y verano 6 eventos y en otoño 10. Por tanto la estación con mayor registro de desprendimientos es otoño con un 33.3%.

Para la estación de otoño e invierno se van a estudiar las temperaturas mínimas y máximas para determinar el comportamiento del agua en los ciclos de hielo-deshielo con la ocurrencia de los desprendimientos ya que durante la primavera y el verano las temperaturas registran valores bastante superiores a los 0 ° C.

Del total de 30 desprendimientos, 18 eventos tienen lugar en las estaciones de otoño e invierno. Las tablas (tabla nº 4 y 5) reflejan las temperaturas máximas y mínimas 15 días previos al evento.

En otoño, de los 10 desprendimientos solo en 4 se observan temperaturas por debajo de los 0° C. En 2 de ellos, para el evento 10 y 11, las Tª inferiores a 0° C se registran a mitad del período de estudio 5-6 días antes del desprendimiento y el mismo día o un día antes las Tª vuelven a descender. Para los otros dos eventos, el 21 y 36 la temperatura disminuye progresivamente 6-7 días antes y durante éstos las temperaturas son inferiores a 0° C.

En invierno, de los 8 desprendimientos 5 ellos, evento nº 1, 16, 17, 28 y 29, registran temperaturas inferiores a 0 ° C. Las Tª por debajo de los 0° C se dan entre los 10-12 días antes del evento produciéndose ciclos de hielo, donde el agua se funde por el incremento de la temperatura en días posteriores.

Señalar el continuado registro de bajas temperaturas para el evento nº 16. Previo al desprendimiento se registran durante 12 días seguidos, temperaturas en torno a -1° C de media.

Para el evento nº 39 correspondiente al año 2010 se corrobora la influencia de los ciclos de hielo y deshielo para desencadenar desprendimientos.

Tabla 4. Temperaturas máximas y mínimas y diferencia de Tª diaria para Otoño

ESTACIÓN	Nº EV	Tª	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15 (Ev)
OTOÑO	5	Max	19,2	20,2	18,7	17,2	21	19,2	20	22,5	17,6	17,2	22	21,9	18	16,4	16,8
		Min	10,6	10,3	6	11,7	13,6	8,4	6,4	7,2	6,3	3,2	9,2	7,6	8,1	10,4	9,4
		Dif	8,6	9,9	12,7	5,5	7,4	10,8	13,6	15,3	11,3	14	12,8	14,3	9,9	6	7,4
	6	Máx	13	12,5	13,2	10,6	8,6	12,2	12,9	14,4	11,4	15	12,6	12,4	19	17,5	15,8
		Min	8	6,4	5,3	5,3	7,2	5,2	8,7	9,6	4,2	6,2	5,2	1,8	7	4	3,8
		Dif	5	6,1	7,9	5,3	1,4	7	4,2	4,8	7,2	8,8	7,4	10,6	12	13,5	12
	9	Max	28,7	30,2	30,6	30,8	32,6	30,7	28,8	29	30	31,8	32,2	31	28	26,6	23,7
		Min	14,2	12,5	12,9	13,8	15,4	18	17,1	14,6	16,4	16	16,1	20,2	17	17,2	15
		Dif	14,5	17,7	17,7	17	17,2	12,7	11,7	14,4	13,6	15,8	16,1	10,8	11	9,4	8,7
	10	Máx	12,8	11	12,4	17,1	10,2	9,6	8,8	6,1	11,3	10,5	12,6	11	10	11,6	12,6
		Min	5	2	9	8,4	2,4	-0,1	-1,2	-1,6	4	4,5	5,3	3,8	4,6	3,6	-0,2
		Dif	7,8	9	3,4	8,7	7,8	9,5	7,6	4,5	7,3	6	7,3	7,2	5,7	8	12,4
	11	Max	11	12,4	17,1	10,2	9,6	8,8	6,1	11,3	10,5	12,6	11	10,3	12	12,6	12,6
		Min	2	9	8,4	2,4	-0,1	-1,2	-1,6	4	4,5	5,3	3,8	4,6	3,6	-0,2	1,2
		Dif	9	3,4	8,7	7,8	9,5	7,6	4,5	7,3	6	7,3	7,2	5,7	8	12,4	11,4
	21	Máx	15,8	14,4	12	13,5	12,4	16,5	16,5	12,5	12,4	12,3	10,3	11	10	10,9	13,3
		Min	6,5	5,8	5,4	6,2	6,4	11,2	6,6	4,9	4,4	3,2	2,3	1,2	-1,1	0,8	1
		Dif	9,3	8,6	6,6	7,3	6	5,3	9,9	7,6	8	9,1	8	9,8	8,9	10,1	12,3
	27	Max	29	28,4	30,5	31,5	26,4	28,8	28,4	31,6	29,8	23,6	22,6	26	21	24,8	22,2
		Min	17,4	15,5	16,4	16,3	16,2	13,8	17,4	16	16,4	11,6	9	5,4	13	13,2	14,1
		Dif	11,6	12,9	14,1	15,2	10,2	15	11	15,6	13,4	12	13,6	20,6	8	11,6	8,1
	32	Máx	23,1	25	25,3	24,9	18	22,5	24,5	21,1	15,2	15,9	18,1	21,2	22	23	15,6
		Min	14,3	12,5	12,8	15	15	13,5	16,3	14,4	9,4	8	7	8,3	9	8,9	6
		Dif	8,8	12,5	12,5	9,9	3	9	8,2	6,7	5,8	7,9	11,1	12,9	13	14,1	9,6
	35	Máx	27,4	28,1	30,4	28,5	27,5	27,1	27,1	24,1	25,5	28,2	28,5	29,8	31	30,9	25,9
		Min	16,2	14,1	13,6	14,1	15,6	14	14,9	15,5	14,6	14	11,6	11,8	14	19,5	16,5
		Dif	11,2	14	16,8	14,4	11,9	13,1	12,2	8,6	10,9	14,2	16,9	18	17	11,4	9,4
	36	Max	14	13,6	13,7	11,4	14,3	13,2	14	9,6	9,9	6,2	5,7	7,1	4,9	6,9	1,5
		Min	8,4	5,8	4,5	1,9	6,4	9,3	8,9	3	2,8	0,9	0,8	-0,1	-1,5	-4,3	-2,5
		Dif	5,6	7,8	9,2	9,5	7,9	3,9	5,1	6,6	7,1	5,3	4,9	7	3,4	2,6	-1

Tabla 5. Temperaturas máximas y mínimas y diferencia de T° diaria para Invierno

ESTACIÓN	Nº EV	Tª	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15 (Ev)
INVIERNO	1	Máx	-	-	-	-	-	-	9,9	7,9	5,6	7,8	1,2	5,4	3,8	9,2	13,4
		Min	-	-	-	-	-	-	3,3	1,6	2	-0,4	-0,4	-2	-2,5	1,8	6,8
		Dif	-	-	-	-	-	-	6,6	6,3	3,6	7,4	0,8	3,4	1,3	7,4	6,6
	2	Máx	19,6	14,8	11,6	12	13,4	14	18,1	17,1	20,4	19,8	16,2	17	17	16,4	19,5
		Min	0,5	3,7	3,2	2,2	0,6	0	2,7	1,6	5,6	7,6	5	6,7	8,4	9,8	7,8
		Dif	19,1	11,1	8,4	9,8	12,8	14	15,4	15,5	14,8	12,2	11,2	10,3	8,9	6,6	11,7
	7	Máx	14	12,5	10,6	13,6	14,6	15,2	13,5	18,9	21,8	21,4	16,8	17,8	19	20,6	22
		Min	0,5	3,7	3,2	2,2	0,6	0	2,7	1,6	5,6	7,6	5	6,7	8,4	9,8	7,8
		Dif	13,5	8,8	7,4	11,4	14	15,2	10,8	17,3	16,2	13,8	11,8	11,1	10	10,8	14,2
	16	Máx	11	10,4	9,6	9,6	13,6	11	9	10,8	12,2	11,6	9,1	8,6	9,2	8,1	11,6
		Min	-3	-1,4	-2,6	-4,4	-3,6	-0,6	-2	0,4	2	-2,4	-3,5	-4,4	1	2,2	6,2
		Dif	8	9	7	5,2	10	10,4	7	10,4	10,2	9,2	5,6	4,2	8,2	5,9	5,4
	17	Máx	17,8	16,2	18,3	17,6	15,2	14	14	14,2	11,4	9,8	11,3	5,6	9,6	10,6	10,1
		Min	4	5,6	0,2	1,2	1,4	6,2	4	7,8	3	3,2	2,6	1,2	0,2	-1,4	1,6
		Dif	13,8	10,6	18,1	16,4	13,8	7,8	10	6,4	8,4	6,6	8,7	4,4	9,4	9,2	8,5
	22	Máx	14,5	15,1	14,1	15	16,7	16,1	19	19,2	16,8	15,9	19,2	22,4	16	12,1	17,8
		Min	3,6	5,2	8,3	7,6	6,5	3,8	2,9	7,7	8,5	6	9	4,6	4,9	6,6	8,4
		Dif	10,9	9,9	5,8	7,4	10,2	12,3	16,1	11,5	8,3	9,9	10,2	17,8	11	5,5	9,4
	28	Máx	15	18	17,1	16,9	14,9	12	11,2	13	13,2	13,9	16	18,7	19	16,8	15,9
		Min	-1	-0,6	-1,4	-1,3	0,7	-1,6	3	4	5,2	2	0,6	1,1	2,4	2,5	3,2
		Dif	14	17,4	15,7	15,6	15,6	10,4	8,2	9	8	11,9	15,4	17,6	16	14,3	12,7
	29	Máx	17,1	16,9	14,9	12	11,2	13	13,2	13,9	16	18,7	18,5	16,8	16	15,8	14
		Min	-1,4	-1,3	0,7	-1,6	3	4	5,2	2	0,6	1,1	2,4	2,5	3,2	2,8	1,9
		Dif	15,7	15,6	14,2	10,4	8,2	9	8	11,9	15,4	17,6	16,1	14,3	13	13	12,1
	39	Máx	4,7	0,6	3,1	7,5	12,1	12,5	11	11,6	15,4	14,5	13,9	12,5	11	9,7	13,9
		Min	-3,4	-4,1	-2,4	1,5	2,4	5,5	3,4	6,4	7	4,8	8,2	5,7	1,7	1,1	5,8
		Dif	1,3	-3,5	0,7	6	9,7	7	7,6	5,2	8,4	9,7	5,7	6,8	9,2	8,6	8,1

Otro factor influyente en el desencadenamiento de desprendimientos son las voladuras realizadas durante la remodelación de la carretera. En el área de estudio se observan una fuerte afección del macizo. La instalación incorrecta de los barrenos y la vibración inducida por la propia voladura generaron grietas de descompresión y zonas más trituradas, las cuales se muestran ahora como factor desencadenante.

Por último, la presencia de vegetación en la zona de desmonte y en la de ladera natural inestabiliza el macizo, sobre todo cuando se localiza entre las grietas de los bloques. La presión radicular que genera aumenta la grieta y favorece la caída de bloques, piedras, etc.



Figura 14. Vegetación entre las grietas

3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El desencadenante en los procesos gravitacionales puede ser variado (precipitaciones, modificación de la geometría, erosión, cambios en las condiciones hidrogeológicas, terremotos, etc.). Realizar una aproximación de cuáles son las características meteorológicas previas que pueden desencadenar desprendimientos resulta de gran utilidad como orientación previa. Por ello, el estudio realizado ha analizado las precipitaciones como el posible desencadenante principal de los desprendimientos en la Carretera de Circunvalación.

La primera parte del análisis inventaria los desprendimientos desde 1997 a 2009. Se registran 37 desprendimientos para esta serie temporal. No existe una tendencia uniforme a lo largo de los años pero a menor escala, el mes de Diciembre es el mes con mayor número de desprendimientos, seguido de octubre, marzo y abril.

Posteriormente se intenta establecer una relación entre los desprendimientos y las precipitaciones anuales y mensuales aunque los resultados no son muy detallados. No se puede concluir que los años con mayores precipitaciones registren mayor número de eventos ni que los meses más lluviosos tengan más caída de bloques, piedras, etc.

El análisis con el día de máxima precipitación arroja más información ya que 10 eventos se producen con el día de máxima precipitación, 9 tienen lugar 5 días más tarde del día más lluvioso y se producen 6 desprendimientos entre 5 y 15 días posteriores. Son 12 eventos que se corresponden con un 32,5 % los que tienen lugar antes del día de máxima precipitación.

Si se tiene en cuenta la lluvia acumulada en un período de 15 días y su distribución pluviométrica con el desencadenamiento del desprendimiento, del total de eventos, 7 desprendimientos pueden deberse a la lluvia (lluvia acumulada superior a 50 mm en 15 días). El resto de eventos, 30, tienen una lluvia acumulada inferior a 50 mm en 15 días, la cual no se considera suficiente como para causar desprendimientos.

Para este conjunto de eventos se estudia la temperatura media diaria para determinar si los ciclos de hielo y deshielo pueden afectar a desencadenar desprendimientos. De los 30, 18 de ellos tienen lugar en las estaciones de otoño e invierno y registran temperaturas inferiores a los 0°C. Se evalúan las temperaturas máximas y mínimas 15 días previos al evento y se establece que el 50% pueden estar producidos o favorecidos por la combinación de la formación del hielo y su posterior fusión. Para el resto, 9 no se puede afirmar que los ciclos de hielo-deshielo afecten para originar caídas de piedras, bloques, etc.

En resumen y como resultado del análisis, se han producido 37 desprendimientos de los cuales 7 se encuentran relacionados directamente con las precipitaciones de acuerdo al cálculo de la precipitación efectiva para 15 días, 9 eventos pueden estar causados por ciclos de hielo y deshielo y el resto de eventos, 21 no tienen una causa determinada.

Según los datos arrojados, las relaciones son muy complejas y existe incertidumbre en los resultados. Un conocimiento más detallado y extenso permitiría mejorar sustancialmente las conclusiones.

Como propuesta para trabajos futuros se deberá considerar:

1. Se ha evaluado cada factor de manera independiente, precipitación, temperatura, días de helada, etc. pero la combinación de varios factores puede ser determinante para desencadenar desprendimientos. Es posible que las lluvias ocurridas en un período de tiempo, unido a variaciones bruscas de temperatura favorezcan conjuntamente la caída de bloques, piedras, etc.
2. El límite establecido para el período de lluvia efectiva de 50mm/ 15 días es un valor muy elevado de acuerdo a las condiciones pluviométricas de la ciudad de Toledo. De acuerdo a los análisis científicos que establecen este valor como límite mínimo de inestabilidad y posible desencadenante de desprendimientos, las condiciones iniciales son diferentes. La zona de estudio está a mayor altitud, en torno a los 1000-1500 m y el régimen de precipitaciones es mayor. Por ejemplo la acumulada en un año varía de 900 a 1500 mm y para Toledo en el período de 1997 a 2009 no se alcanzan ni los 500 mm.
3. La serie de datos meteorológicos tomada para analizar las precipitaciones puede ser corta. Generalmente para el análisis del patrón de precipitaciones se utiliza series más amplias que abarcan un mínimo de 25-50 años.
4. El carácter regional de este estudio y la ausencia de valores de umbrales desencadenantes lleva a proponer la aplicación de técnicas/ modelos estadísticos para ofrecer resultados teóricos más fiables. Modelos matemáticos permitirían obtener relaciones y datos más concretos y relevantes.
5. La recopilación de incidencias y eventos de desprendimientos se deberá realizar de manera más concreta para conocer que los eventos ocurridos son realmente caídas de bloques, piedras, etc. y no actuaciones para comprobar el estado de la zona.

6. La investigación del alcance de los desprendimientos (zona concreta, tamaño, peso, e tc.) en algunas ocasiones no ha sido realizada y sería recomendable para mejorar el modelo su conocimiento.

Los últimos acontecimientos del mes de Enero de 2010 han producido el corte de la Carretera de Circunvalación al tráfico. Éste continuará hasta que no se tomen las medidas pertinentes que al día de la fecha se encuentran estudiándose. Aún con la adopción de las medidas de consolidación y protección, el macizo continúa en evolución y activo y los desprendimientos pueden producirse nuevamente.

Ante esta situación cabe preguntarse hasta que punto puede interesar cerrar esta vía al tráfico de manera permanente o con carácter temporal atendiendo a las condiciones meteorológicas. Evaluar el corte de la vía de cualquiera de las maneras, continuado o temporal, deberá estudiarse y considerarse con los datos y resultados que se encuentran en proceso de estudio. No obstante, establecer un protocolo de medidas previsibles ante períodos de lluvias torrenciales o continuadas para la Carretera de Circunvalación es el primer paso para minimizar el riesgo a los ciudadanos de Toledo.

4. BIBLIOGRAFÍA

4. BIBLIOGRAFÍA

- AAVV. Ingeniería del Terreno. IngeoTer11
- Ayala, F.J. (1988). Introducción a los riesgos geológicos. En F.J. Ayala et al (Coords.) *Riesgos Geológicos*. Madrid, 3-20.
- Benito, G., Díez Herrero, A. (2004) Riesgos Naturales y Antrópicos en Geomorfología. VIII Reunión Nacional de Geomorfología (Vol. II). Sociedad Española de Geomorfología. CSIC-Centro de Ciencias Ambientales.
- Caballero, J.; Carrasco,, R.M.; y Díez, A. (2003). Paisajes Geológicos de Toledo. En R. Nuche (ed.) *Patrimonio Geológico de Castilla-La Mancha*. Madrid, 334-419.
- Carvavilla, L. Ruiz, R., Rodríguez, E. (2008) Guía geológica del parque natural del Alto Tajo. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha
- Corominas, J., Moyá, J. (1996). Historical landslides in the Eastern Pyrenees and their relation to rainy events. In: Chacon, J., Irigaray, C., Fernández, T. (Eds). *Landslides* A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 125-132
- Corominas, J., Moyá, J. (1999). Reconstructing recent landslide activity in relation to rainfall in the Llobregat River basin, Eastern Pyrenees, Spain. Elsevier Science B.V.
- Chau, K.T., Wong. R.H.C., Liu.J & Lee,F. (2002). *Rockfall Hazard Analysis for Hong Kong Based on Rockfall Inventory*.
- Flageollet, J.C.,Maquaire, O., Martin, B., Weber, D. (1999). Landslides and climatic conditions in the Barcelonnette and Vars basins (Souther French Alps, France). Elsevier Science B.V
- González de Vallejo, L.I.(2002). *Ingeniería Geológica*. Prentice Hall.
- López, J.M (2002). Geología aplicada a la Ingeniería Civil. Cie Inversiones Editoriales Dossat 2000
- Ministerio de Fomento (2005). Protección contra desprendimientos de rocas. Pantallas Dinámicas. Centro de Publicaciones Secretaria General Técnica Ministerio de Fomento.

- Puell, F., Fortes, J.L. (2010). Informe geotécnico del análisis, zonificación de riesgos y medidas correctoras. Ctra del Valle, tramo “Nuevo puente de Alcántara-Puente Arroyo de la Degollada”. Toledo (Orbis Terrarum Projects y Geocisa S.A)
- Pasuto, A., Silvano, S. (1996). Rainfall as a triggering factor of mass movement. Proc. Of XII General Assembly of European geophysical Society. The Hague, the Netherlands, 6-10 May 1996
- Pasuto, A., Silvano, S. (1998). Rainfall as a trigger of shallow mass movement. A case study in the Dolomites, Italy. Environmental Geology, 35. 184-189
- Roig, B. (2004). Proyecto Final de Carrera “Aplicación del estudio de susceptibilidad a la minimización del riesgo debido a los movimientos en masa en el Valle (Toledo)”
- Sendín, C. & Asociados. (1995). *Cerca del Tajo: Actuación Integral sobre el Tajo a su paso por Toledo*. Capítulo EL tajo y el Torno de Toledo, pg 39-69. Ayuntamiento de Toledo.

DATOS CLIMÁTICOS DE LA CIUDAD DE TOLEDO

Observatorio Geofísico de Toledo: Estación 2

Estación Mocejón: Estación 1

Estación Bargas: Estación 3

Temperatura

Temperatura media mensual y anual (en grados centígrados)

Est.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Año
1	4,8	5,3	7,9	11,5	16,4	21,3	25,8	24,5	20,7	15,1	7,1	3,7	13,7
2	5,9	7,4	10,6	13,4	16,9	22,1	26,1	25,3	21,2	15,2	9,9	6,4	15,0
3	5,6	7,3	8,7	14,1	17,0	22,4	28,3	27,0	22,3	16,1	9,7	5,1	15,3

Oscilación de temperaturas

Est.	T media		Os med	T media máx		T media mín		Os máx	T máx abs		T mín abs		Os abs
	Máx	Mín		Máx	Mín	Máx	Mín		Máx	Mín	Máx	Mín	
1	25,8	3,7	22,1	36,5	9,5	15,1	-2,0	38,5	45,5	18,0	7,0	-14,0	59,5
2	26,1	5,9	20,2	33,2	10,1	18,9	1,6	31,6	42,0	19,4	8,2	-9,2	51,2
3	28,3	5,1	23,2	39,6	10,5	17,0	-0,2	39,8	46,0	19,0	11,0	-8,0	54,0

Número medio mensual y anual de días de helada

Est.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Año
1	18	18	12	6	1	0	0	0	0	3	14	21	93
2	10	6	4	0	0	0	0	0	0	0	2	10	32
3	13	15	12	2	0	0	0	0	0	1	7	18	68

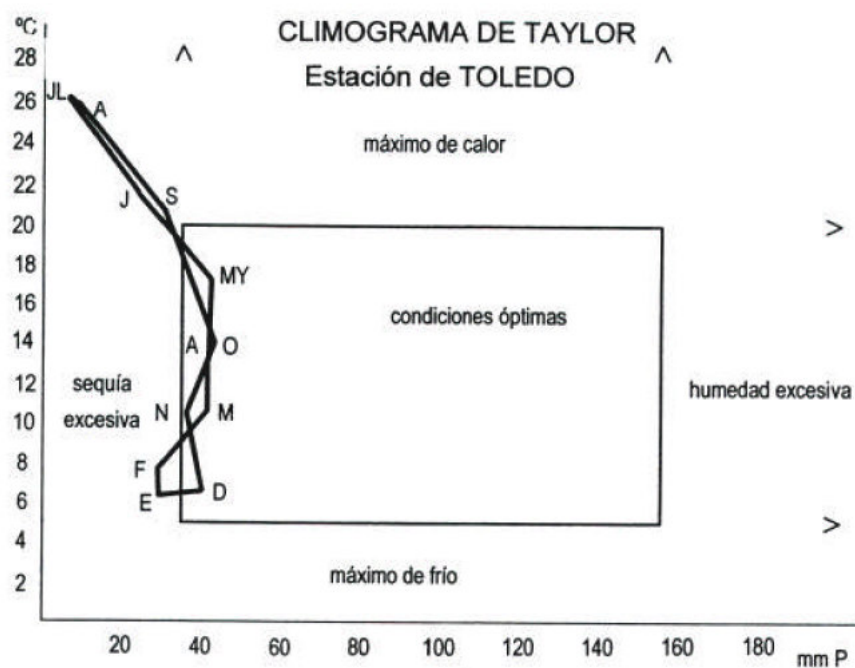
Precipitación

Precipitación media mensual y anual (mm.)

Est.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Año
1	41	50	37	41	42	27	7	7	41	45	50	42	430
2	31	29	41	39	42	25	9	10	29	43	38	40	376
3	50	26	44	32	47	36	14	8	29	34	39	41	400

Coefficientes pluviométricos

Estación	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Mocejón	1,237	1,116	0,381	1,265
Toledo	1,064	1,298	0,468	1,170
Bargas	1,170	1,230	0,580	1,020



AÑO	PRECIPITACIÓN (mm)		TEMPERATURA			Nº DÍAS HELADAS
	Media	Máxima día	Media	Absoluta máxima	Absoluta mínima	
1997	459.2	29.3	15.4	39.4	-2.8	9
1998	389.2	52.5	15.8	39.4	-5.9	33
1999	307.9	22.7	15.9	41.2	-5.4	35
2000	331.1	18.2	13.5	40.3	-5.8	29
2001	340.1	25.4	16.0	40.4	-8	29
2002	362.9	20.6	16.1	40.1	-3.2	14
2003	300.3	22.4	16.6	42	-5.5	31
MEDIA(97/03)	355.8		15.6			25.7
2004	311,4	38,4	15,62	40,8	- 5,4	78*
2005	159,6	15,7	15,89	41,2	- 9,6	90*
2006	373,6	30	16,75	40,4	- 5,6	71*
2007	382,5	34	15,38	41,3	- 6,3	75*
2008	396,2	89,6	15,76	40,6	- 4,3	63*
2009	331,3	50,4	16,71	41	- 6,2	34*
MEDIA (04-09)	325,76		16,01			68,5

* Para el cálculo de heladas y de acuerdo a los datos registrados por la AEMET el valor se ha calculado realizando la suma de la diferencia entre la fecha de inicio y la fecha fin de las heladas mensuales.

REPORTAJE FOTOGRÁFICO DE LOS DESPRENDIMIENTOS CON MAYORES DIMENSIONES



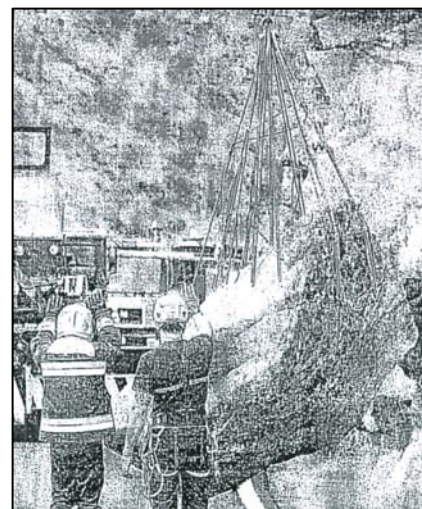
Desprendimiento 30/09/2003



Desprendimiento 11/12/2003



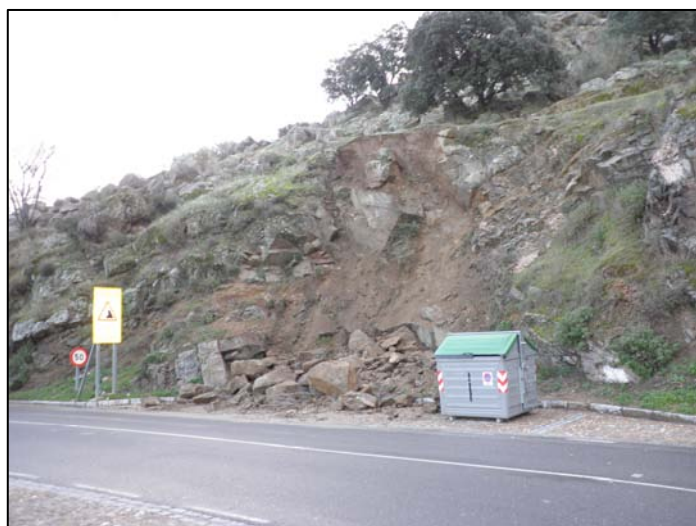
Desprendimiento 29/03/2004



Desprendimiento 16/06/2007



Desprendimiento 11/10/2008



Desprendimiento 29/12/2009

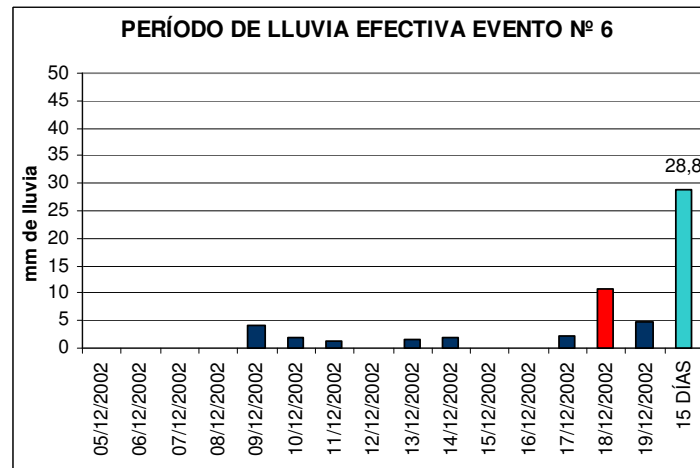
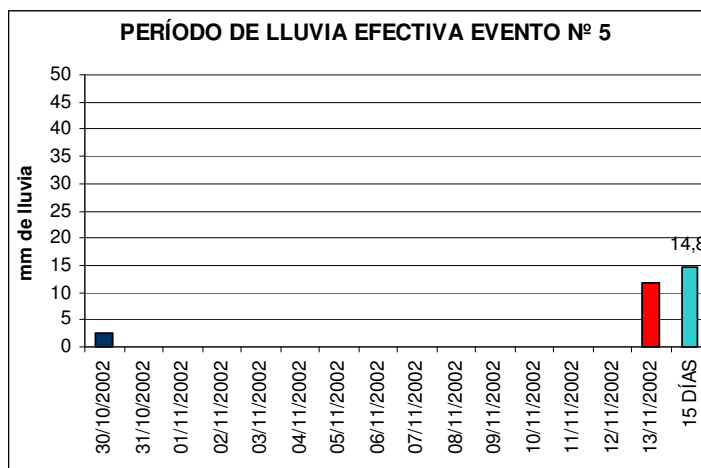
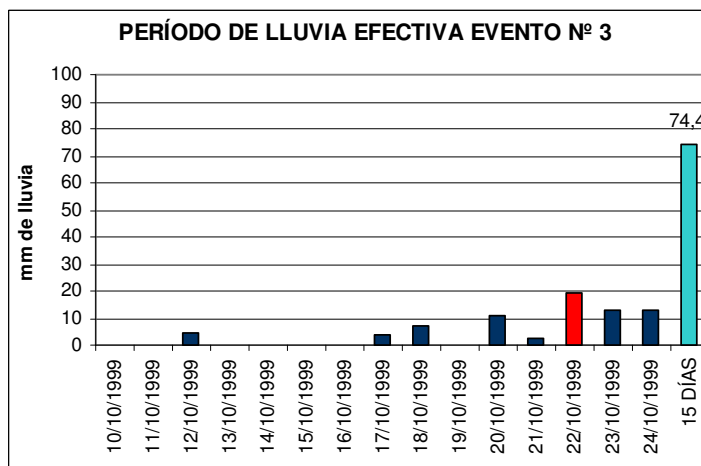
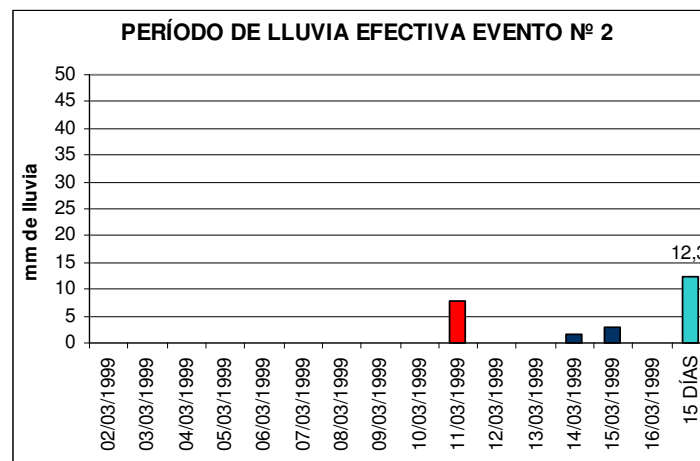
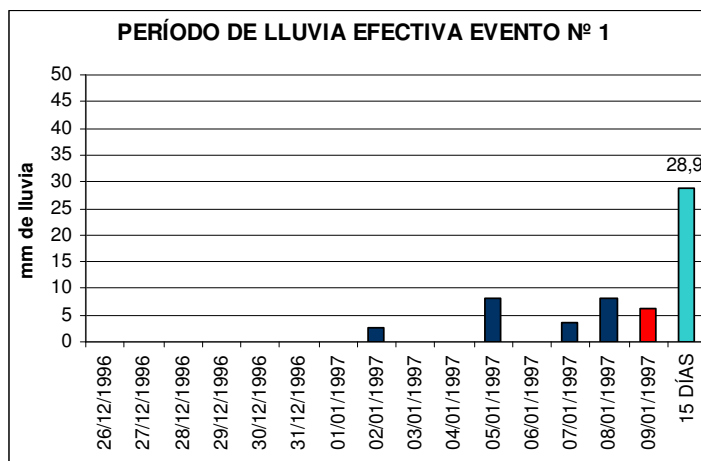


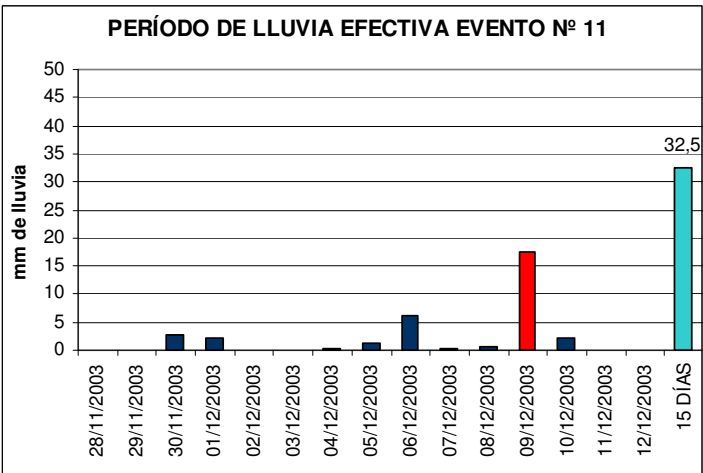
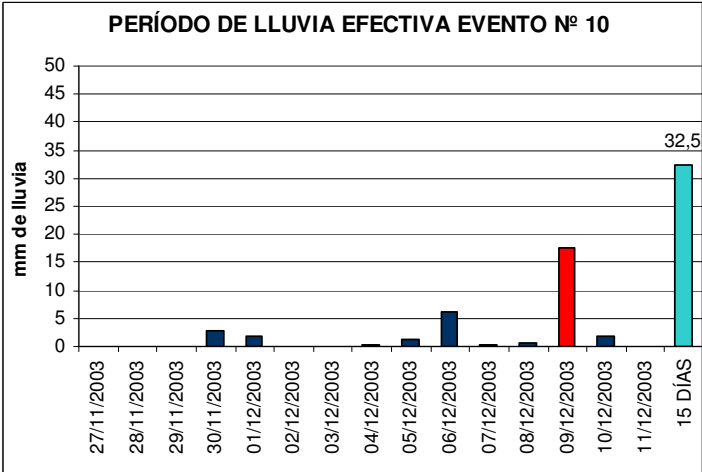
Desprendimiento 8/01/2010

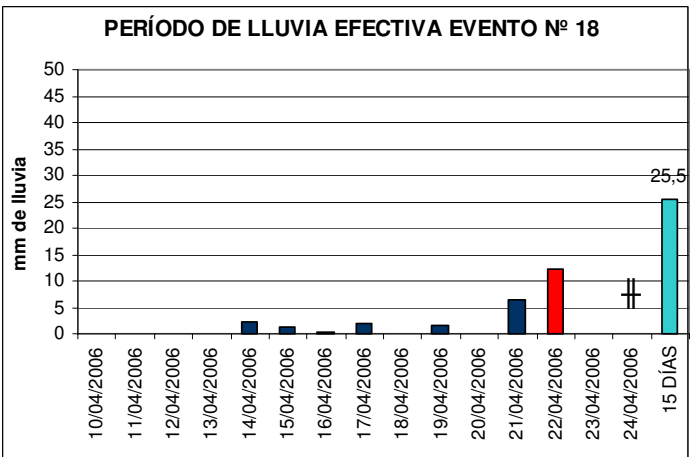
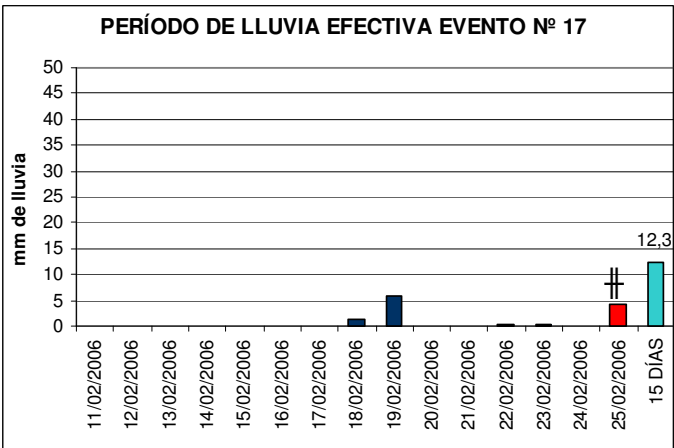
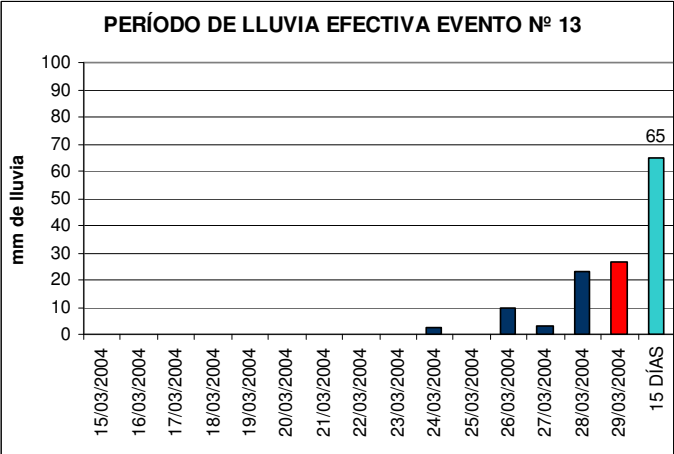


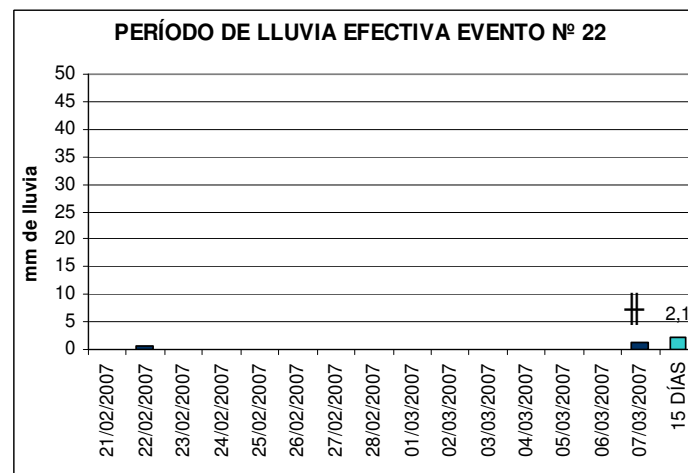
Desprendimiento 23/01/2010

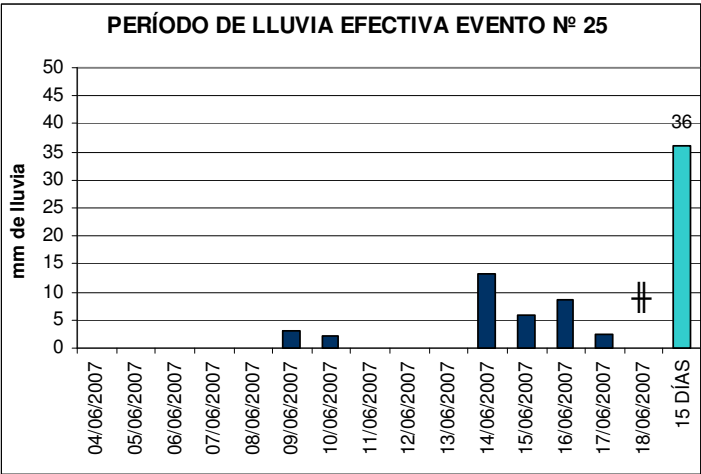
PERÍODOS DE LLUVIA EFECTIVA



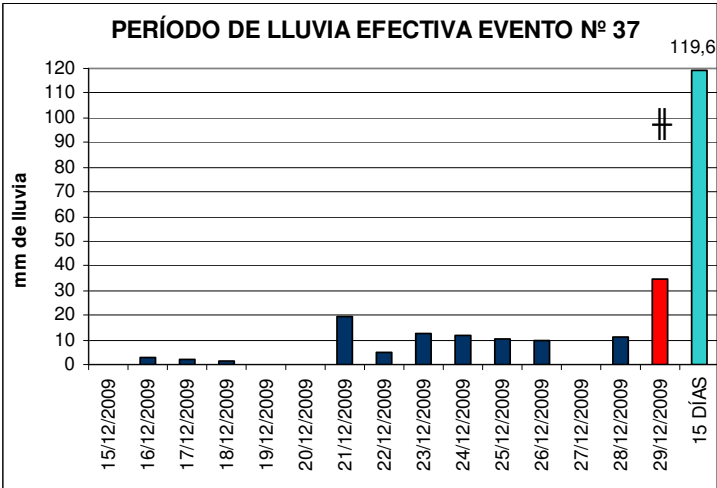




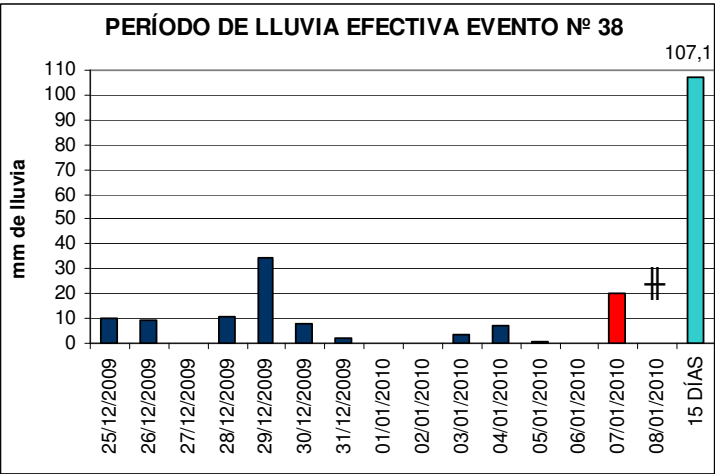




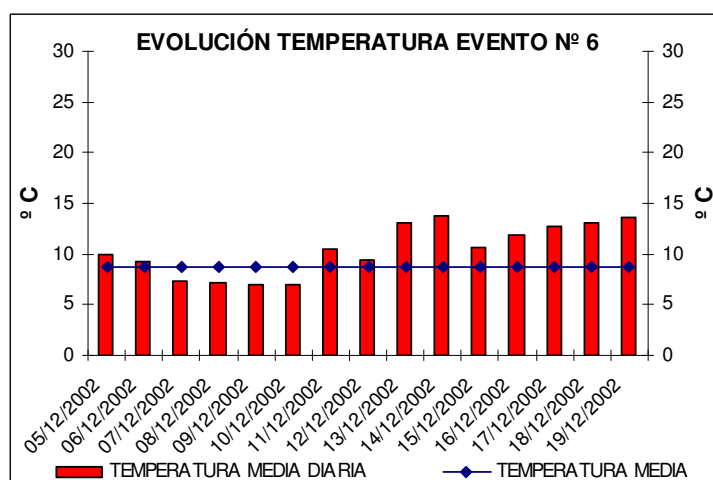
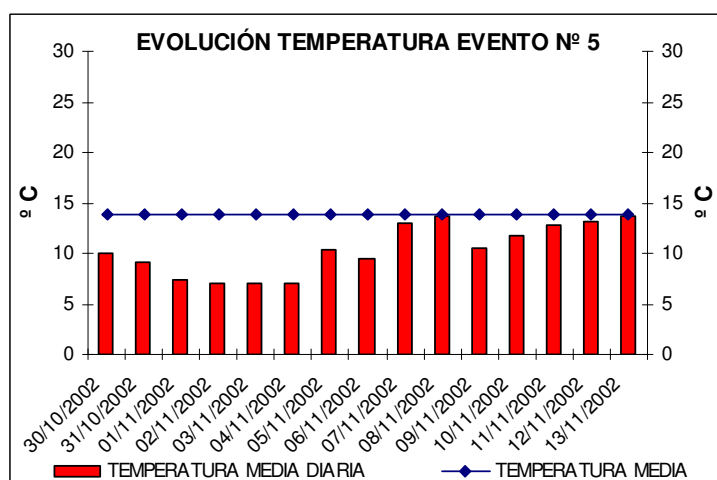
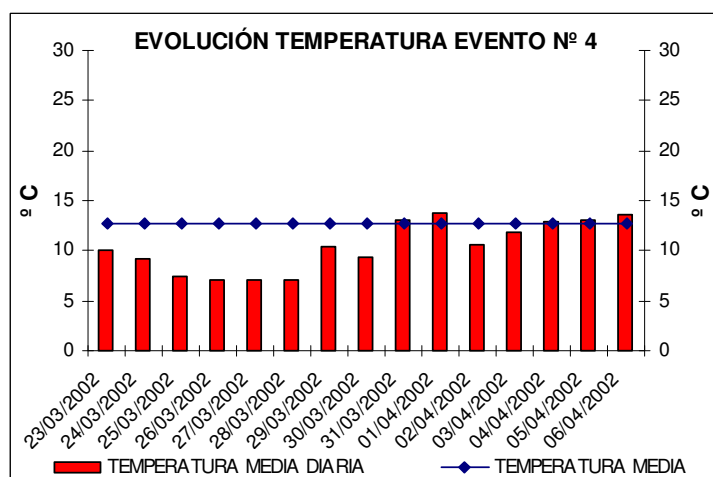
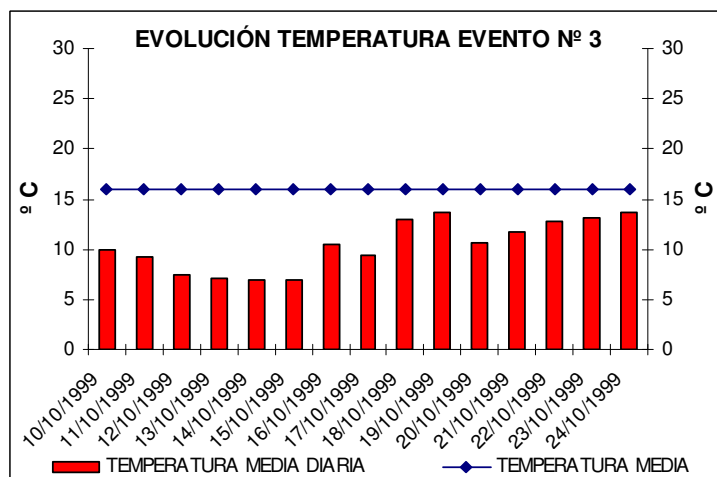
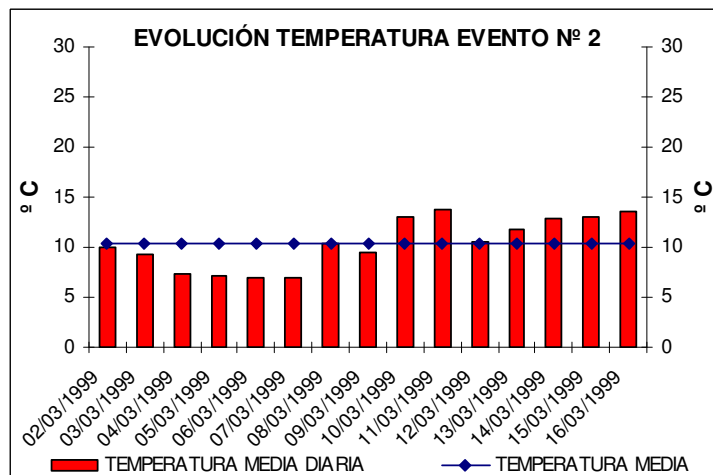
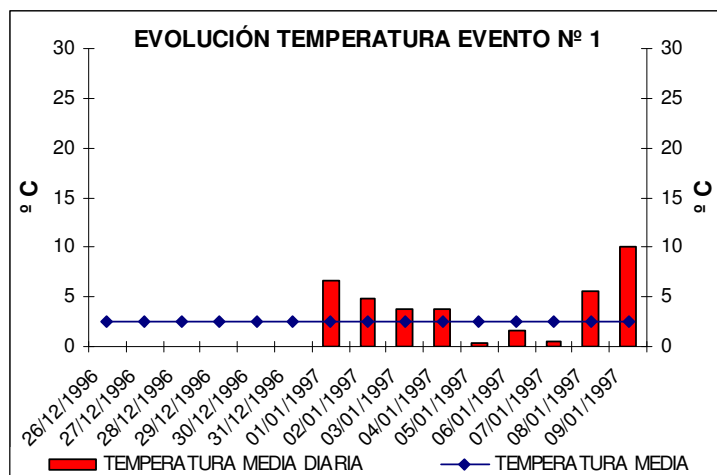


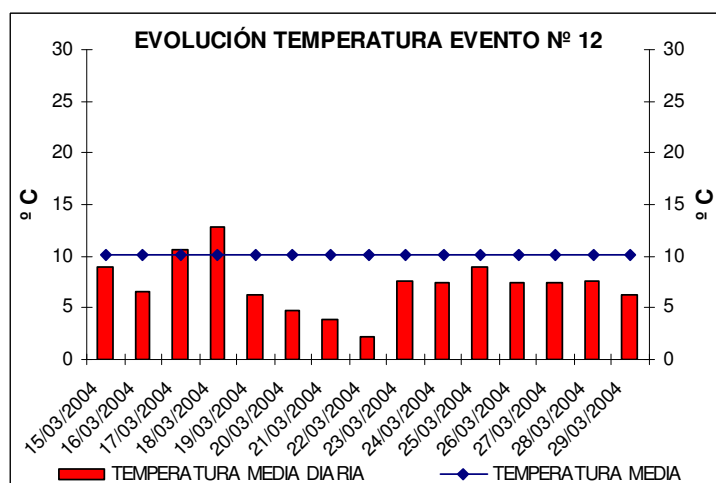
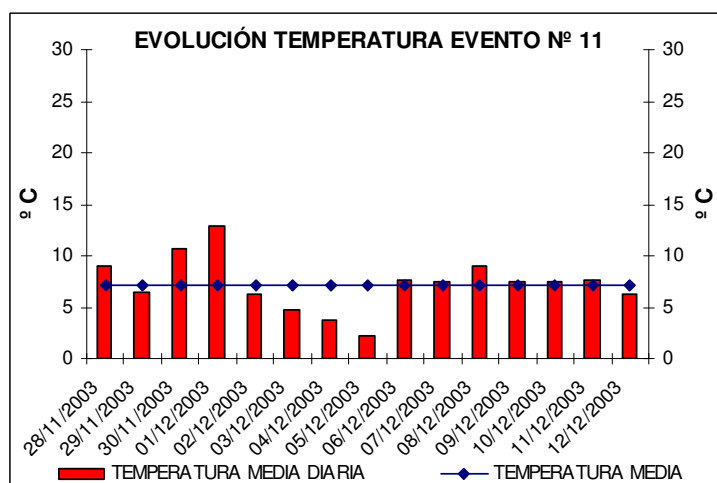
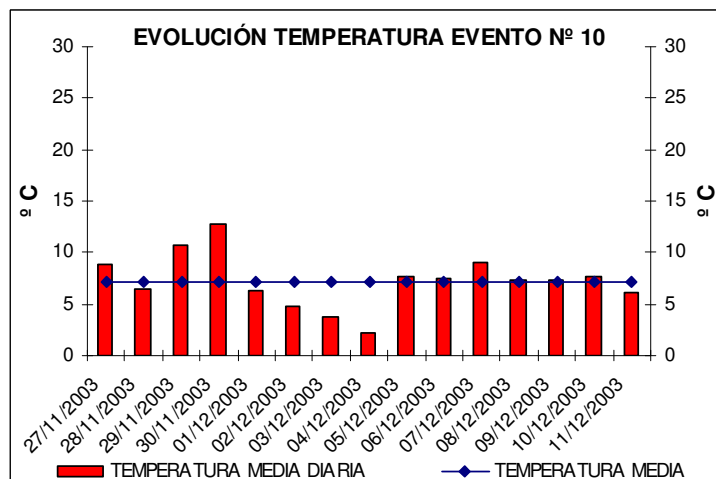
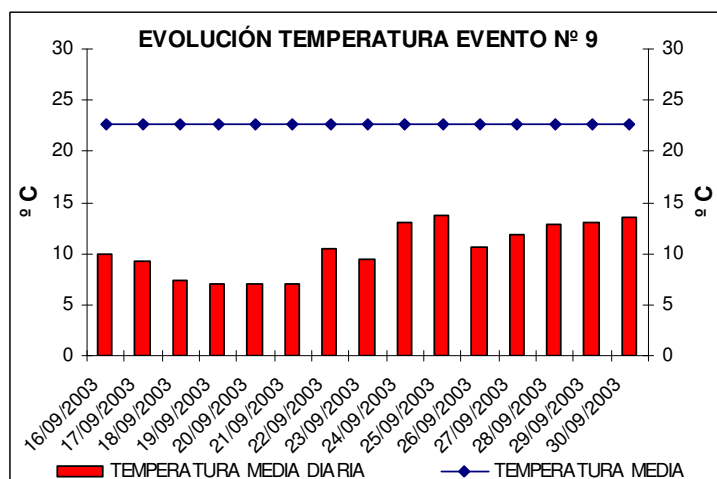
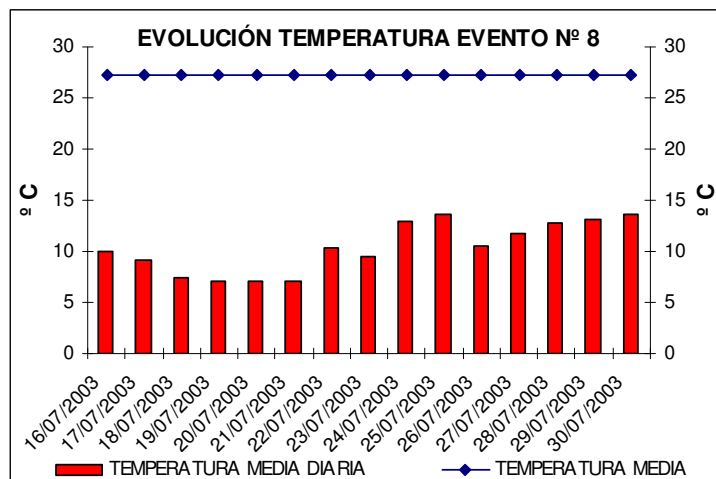
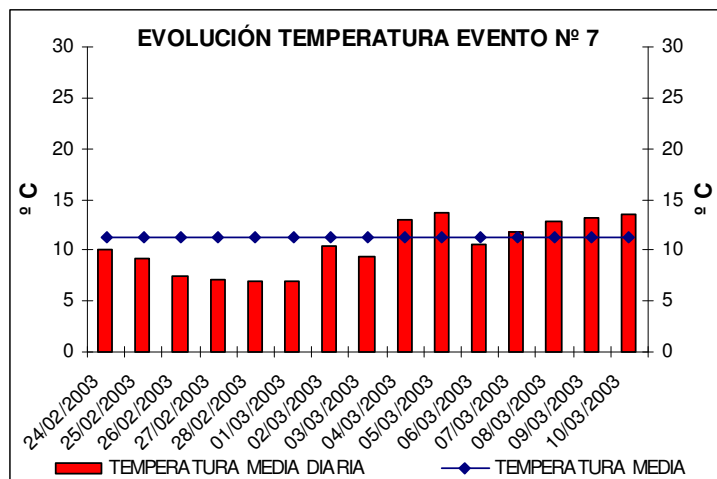


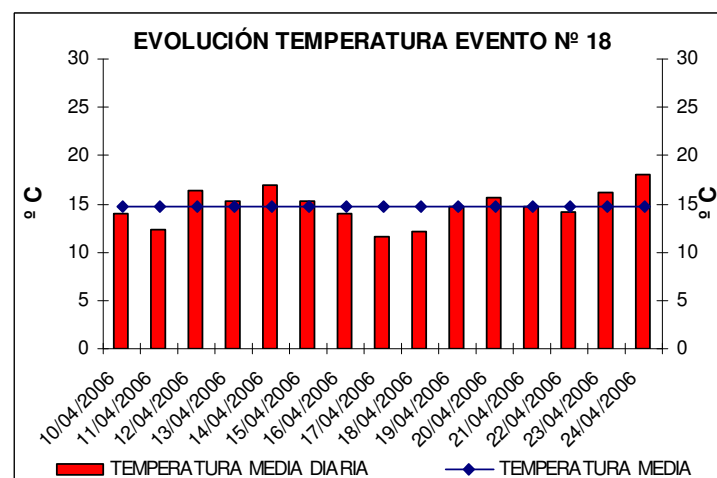
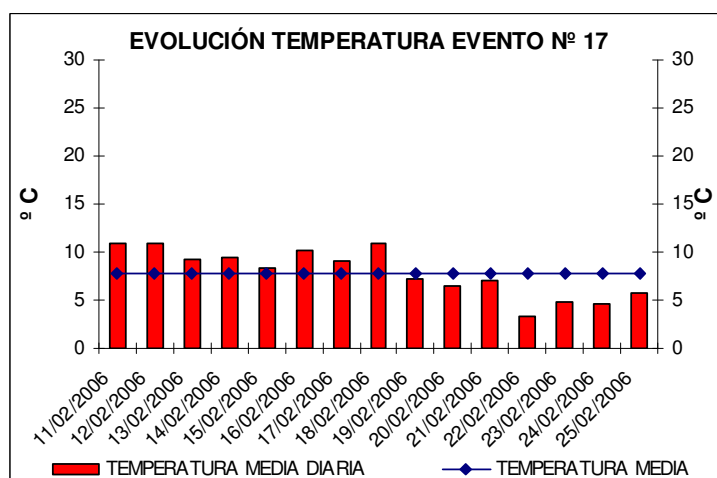
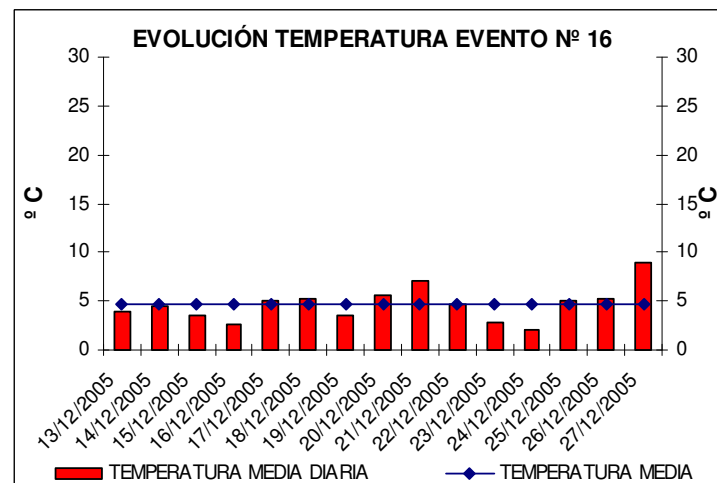
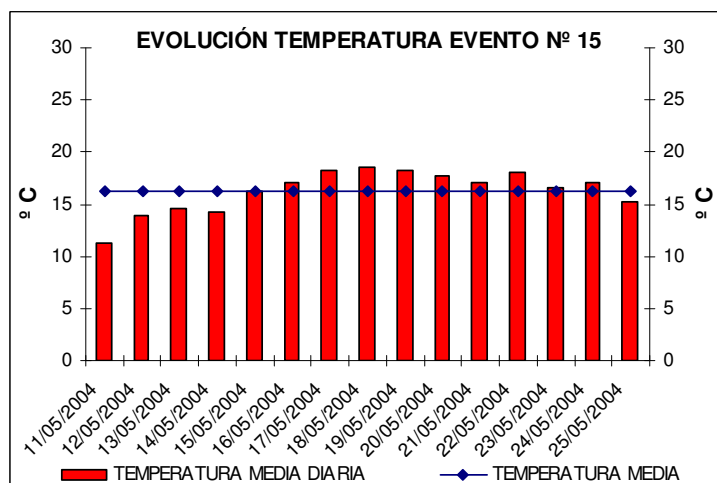
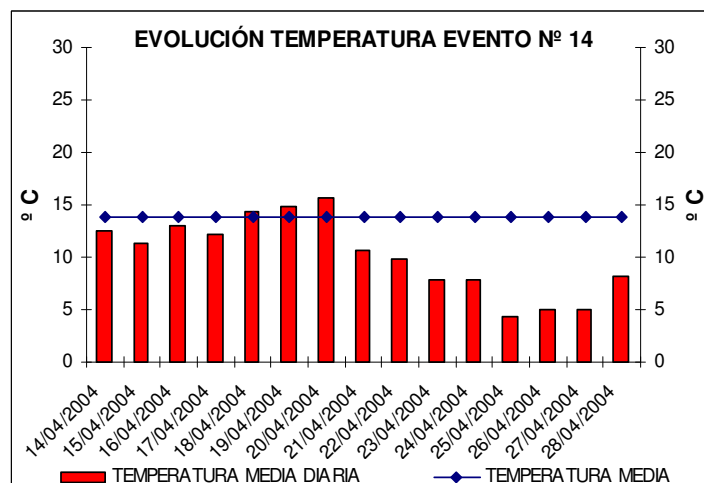
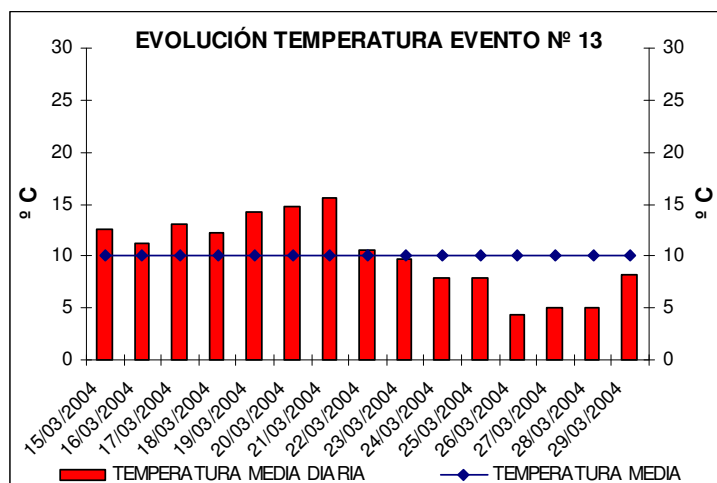
Año 2010

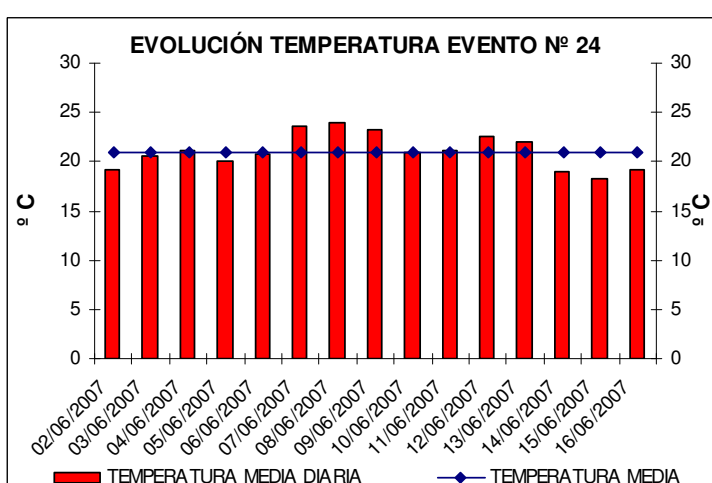
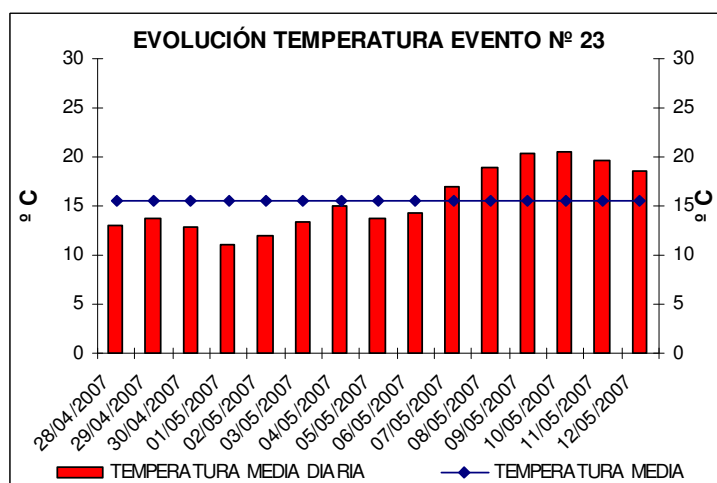
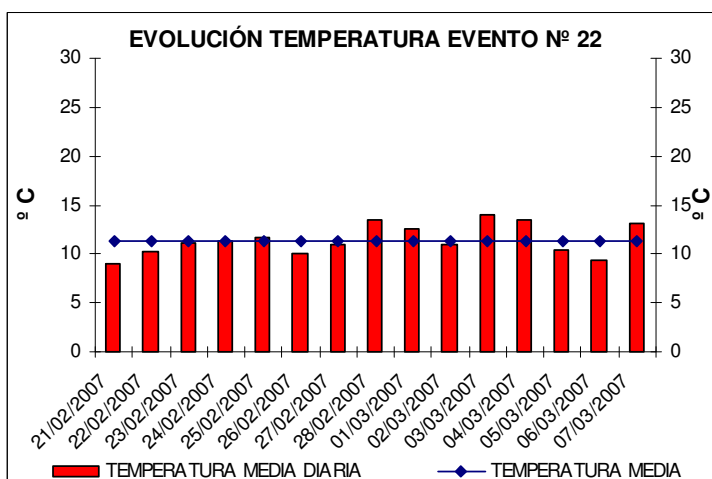
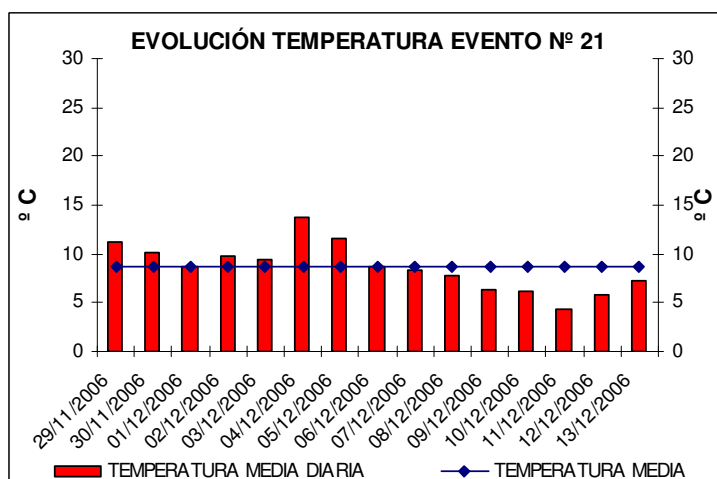
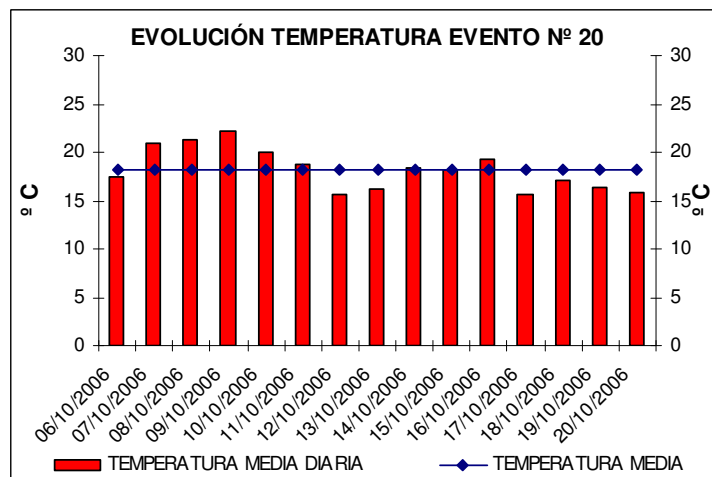
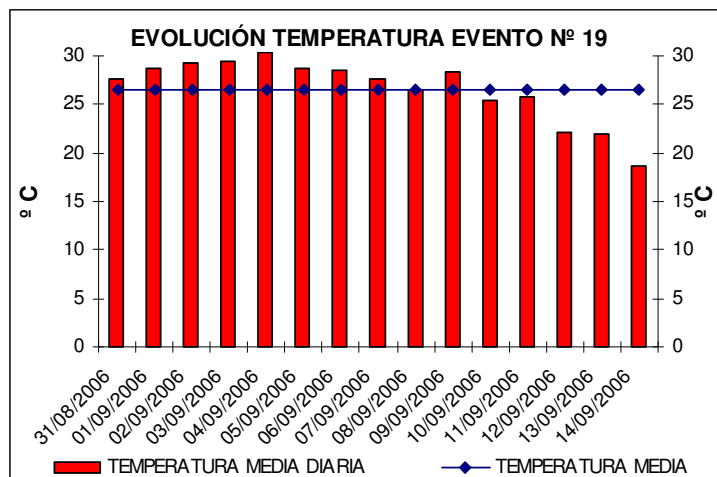


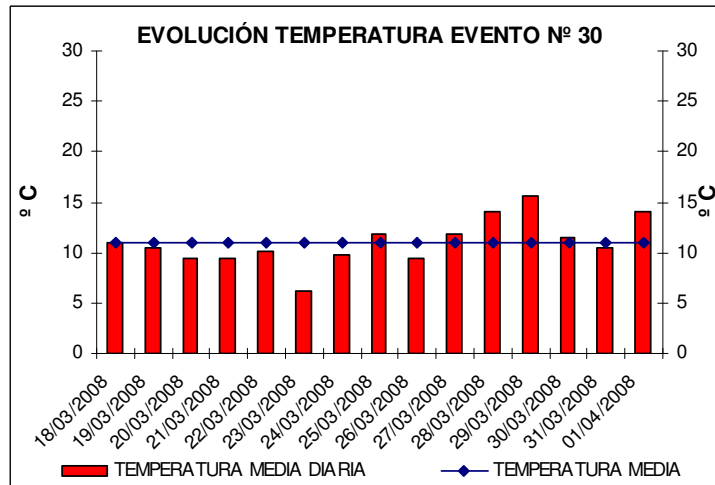
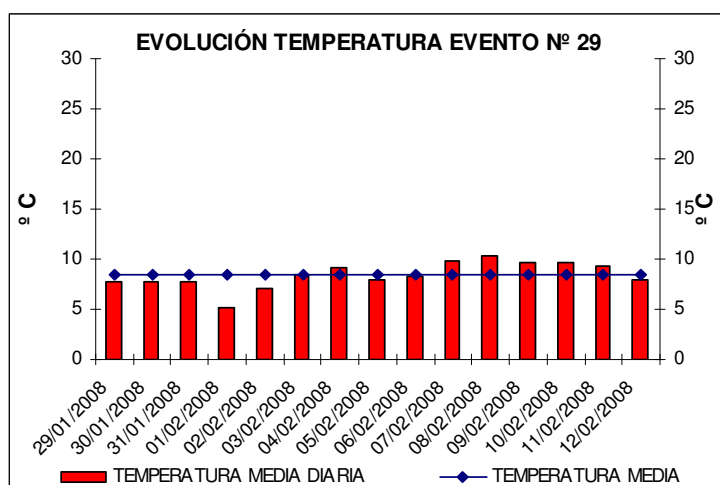
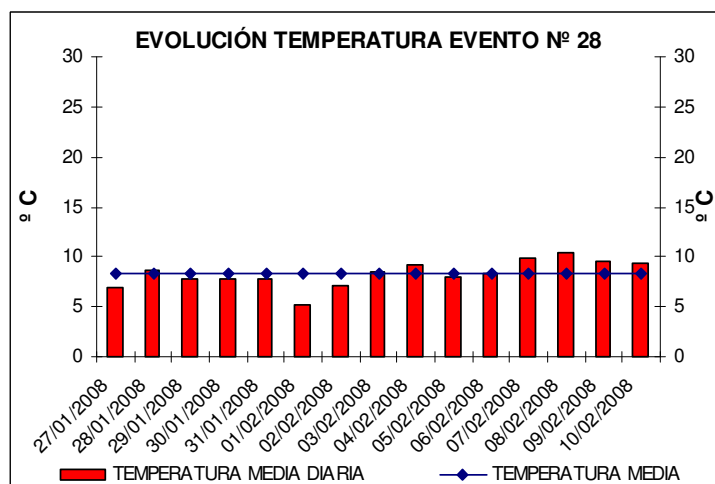
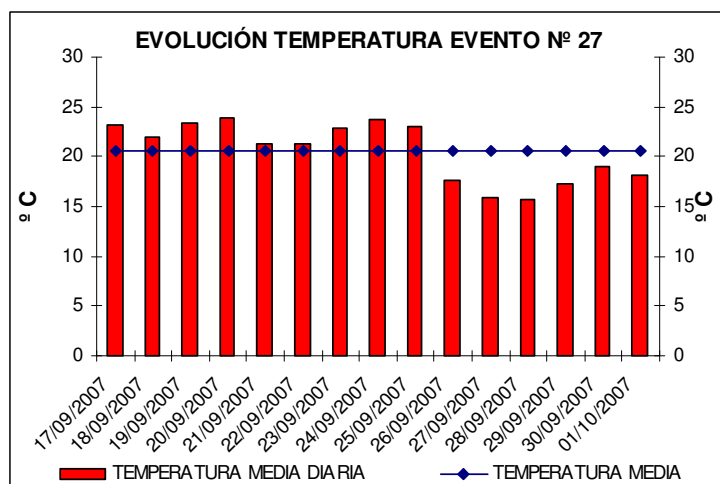
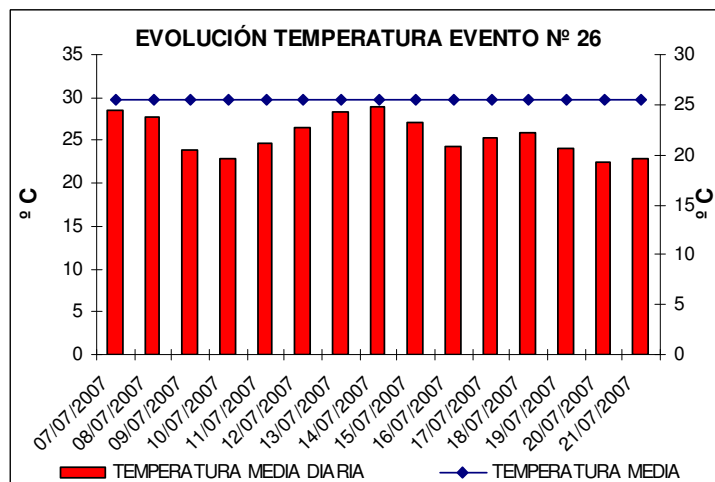
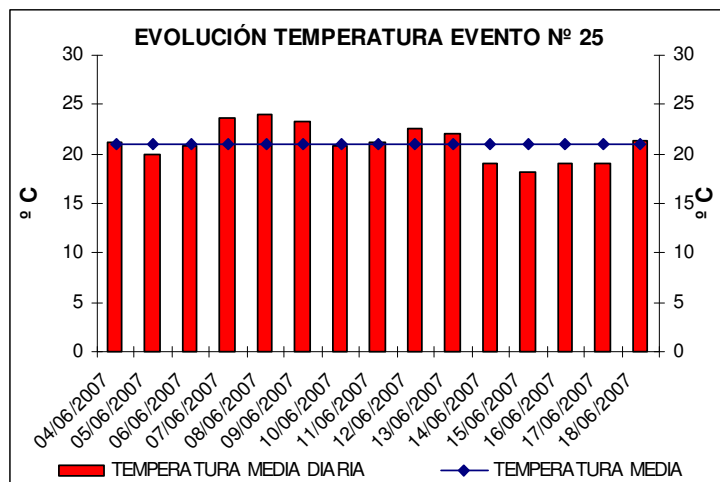
TENDENCIA DE LA TEMPERATURA MEDIA DIARIA 15 DÍAS PREVIOS AL EVENTO

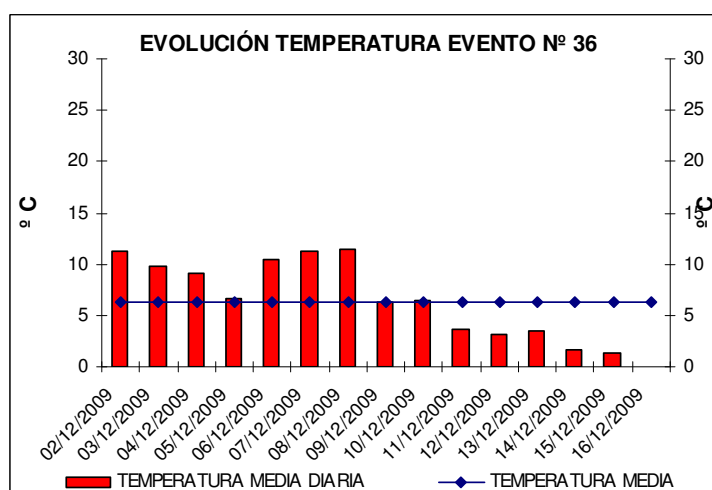
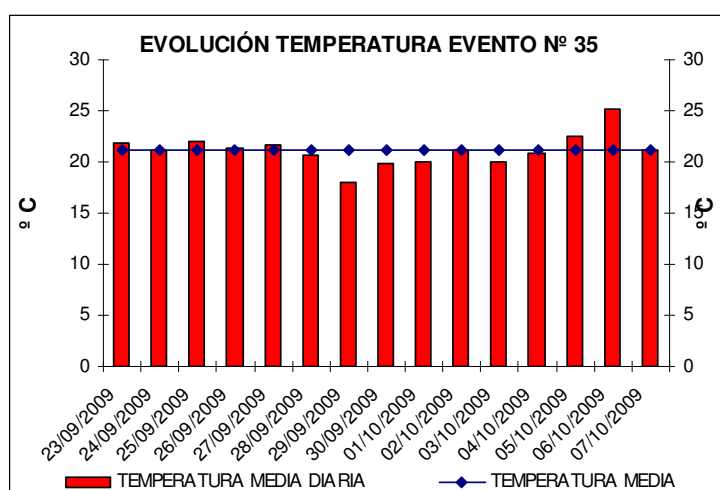
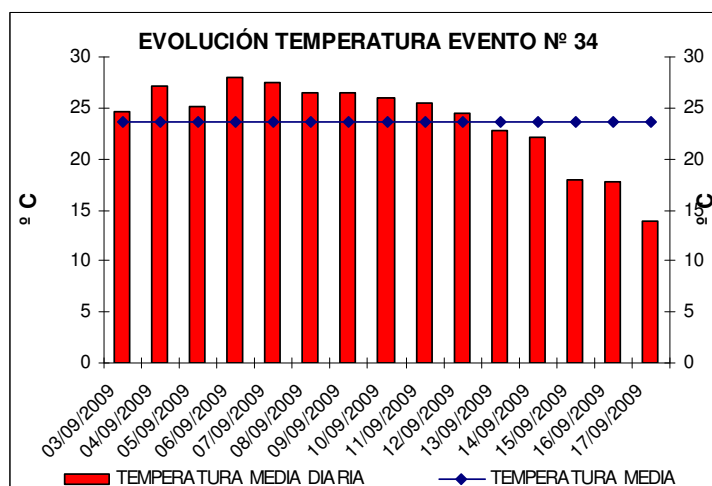
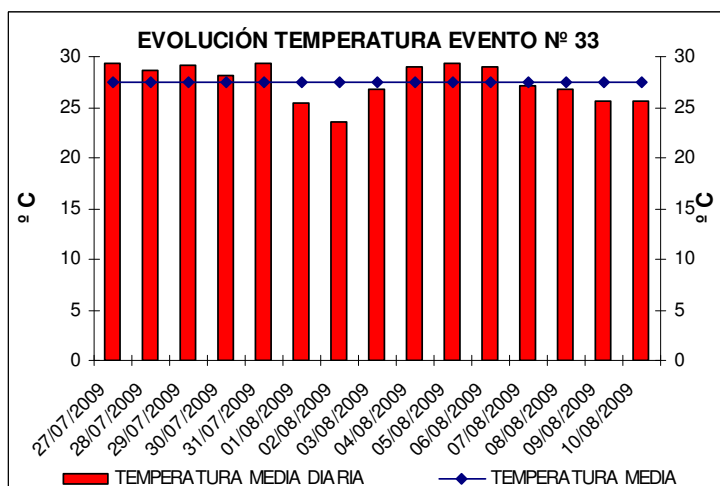
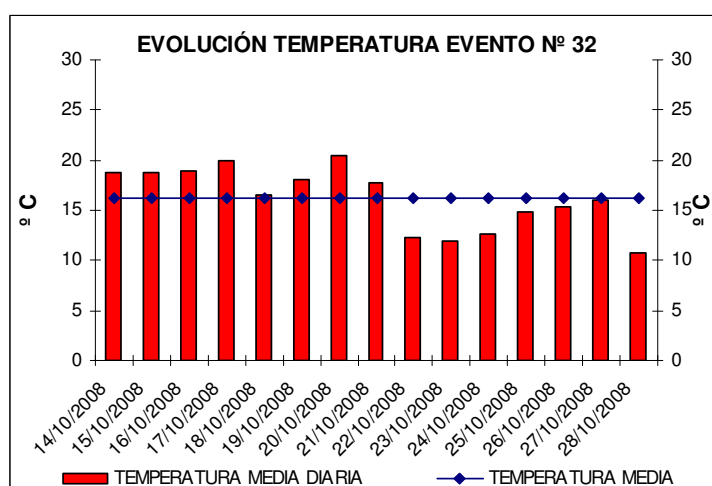
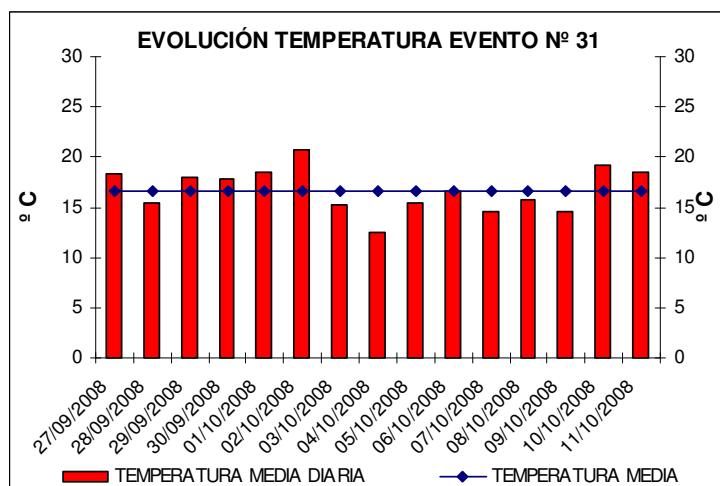


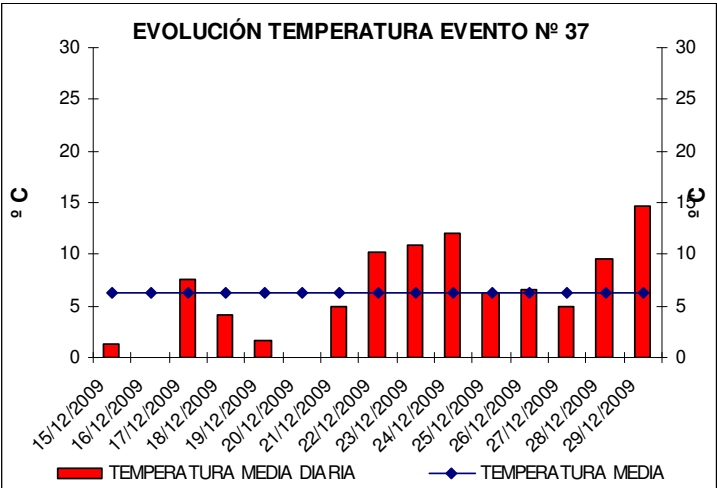




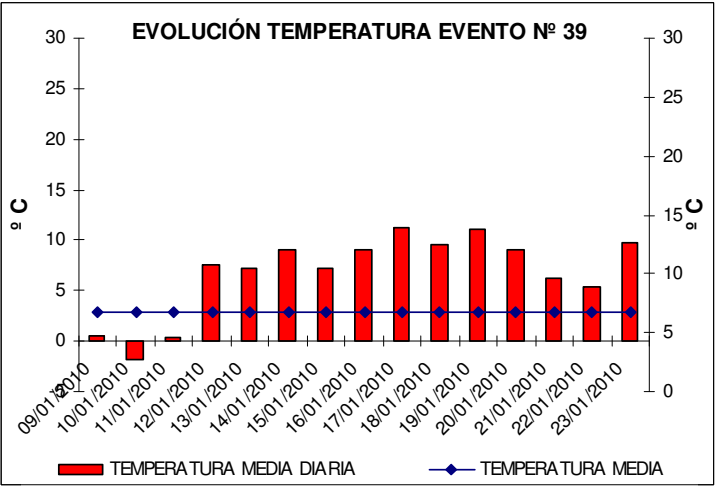
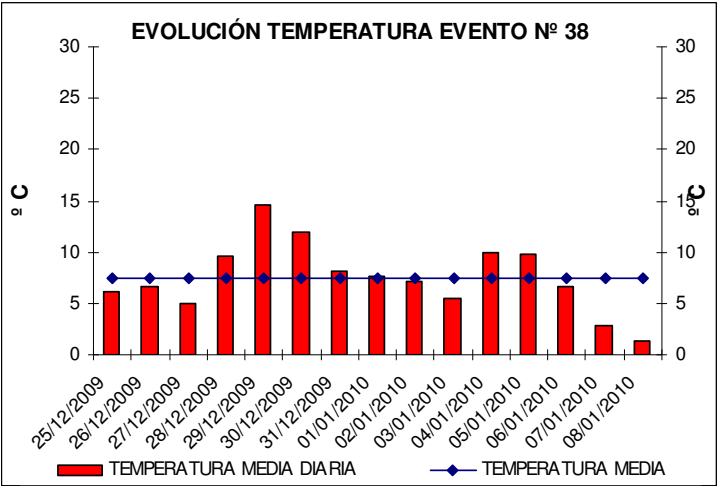




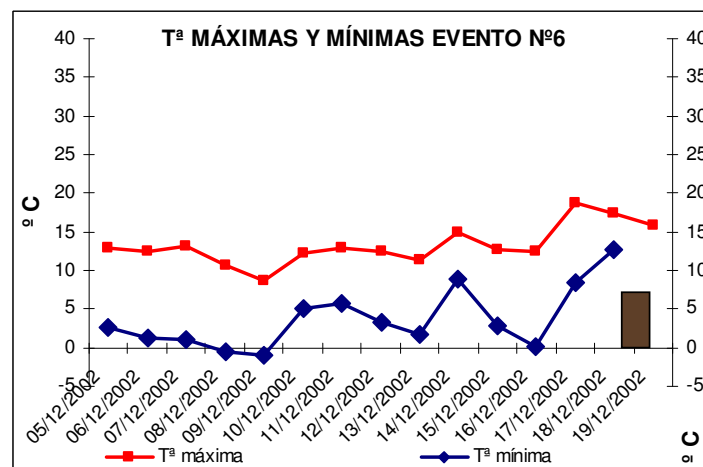
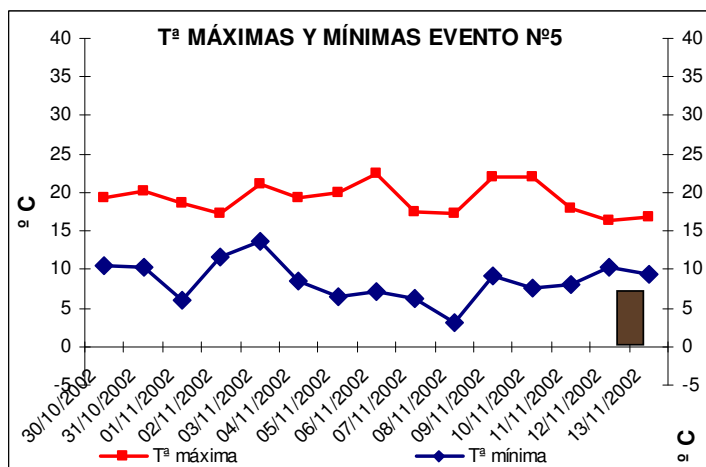
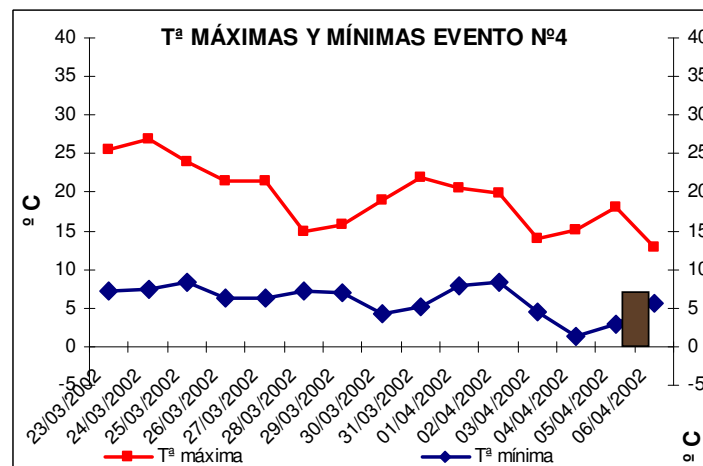
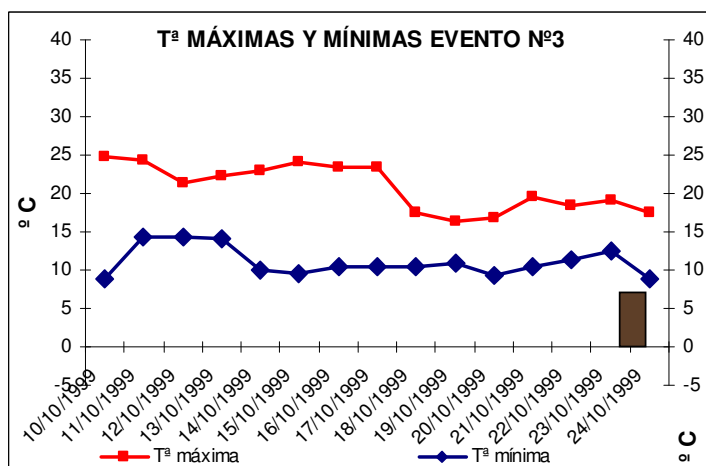
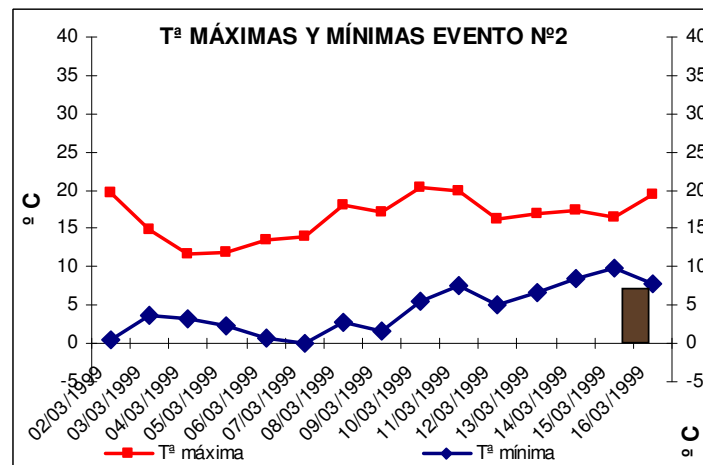
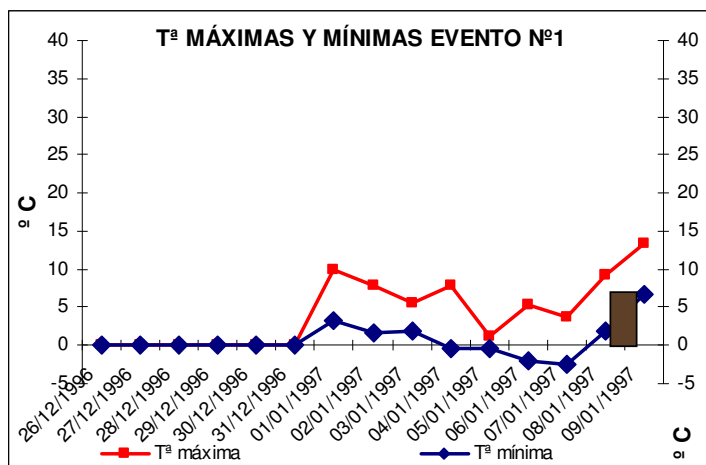


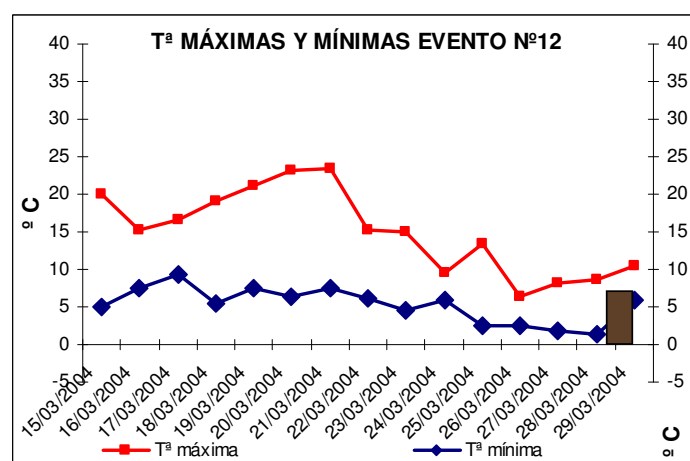
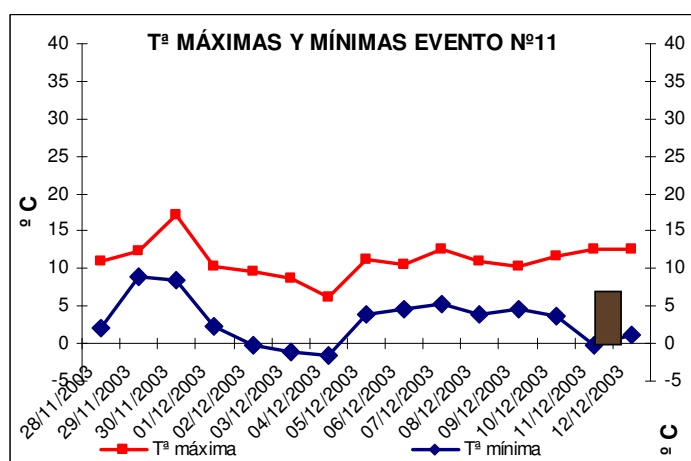
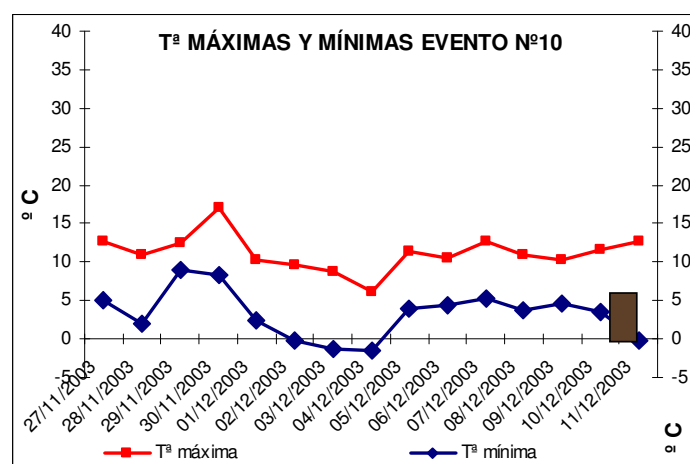
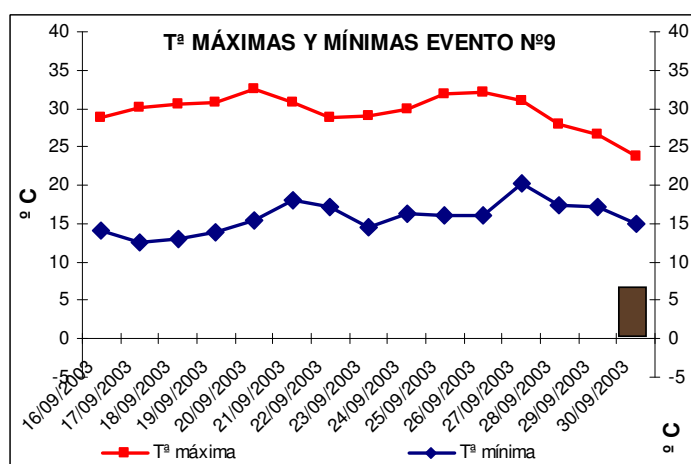
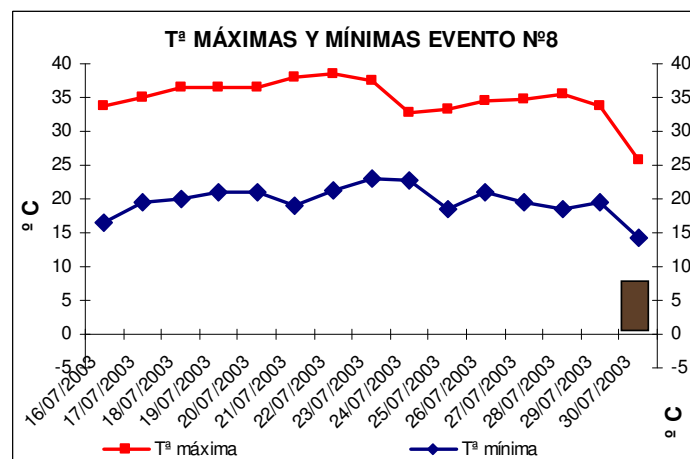
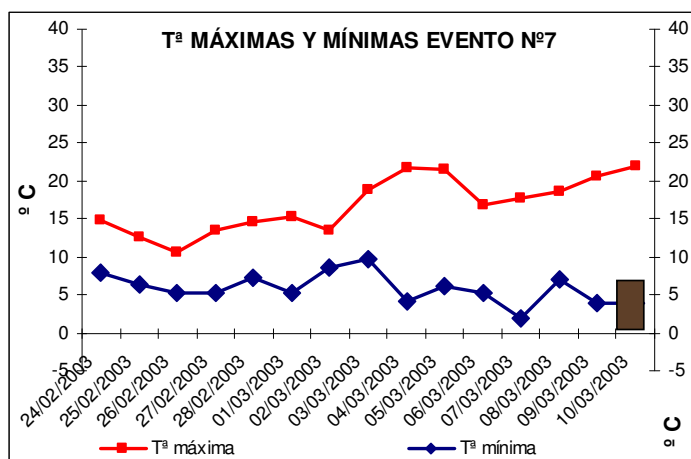


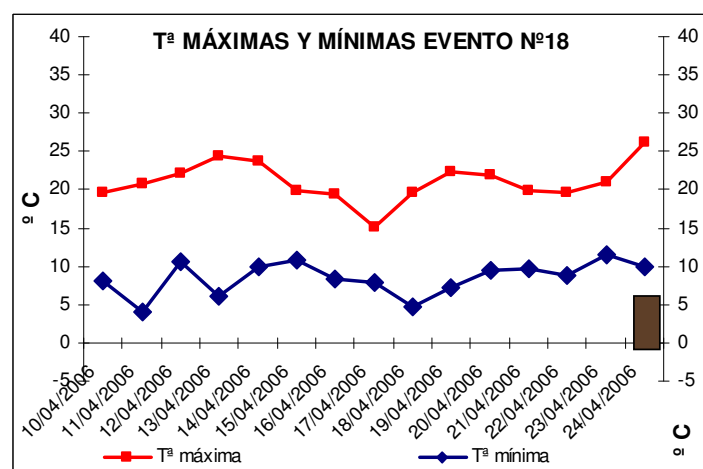
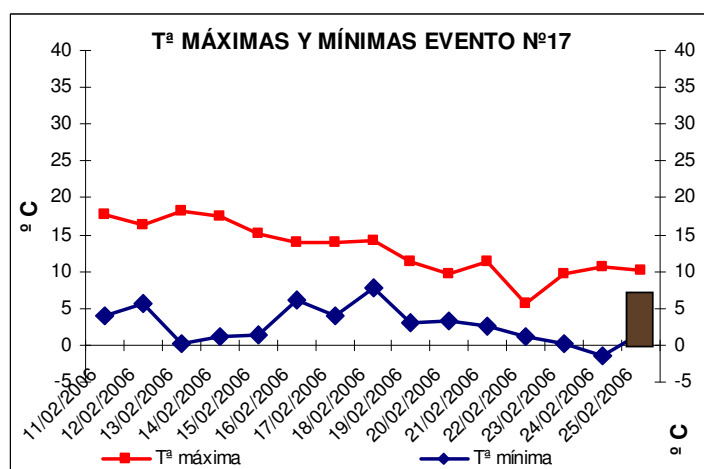
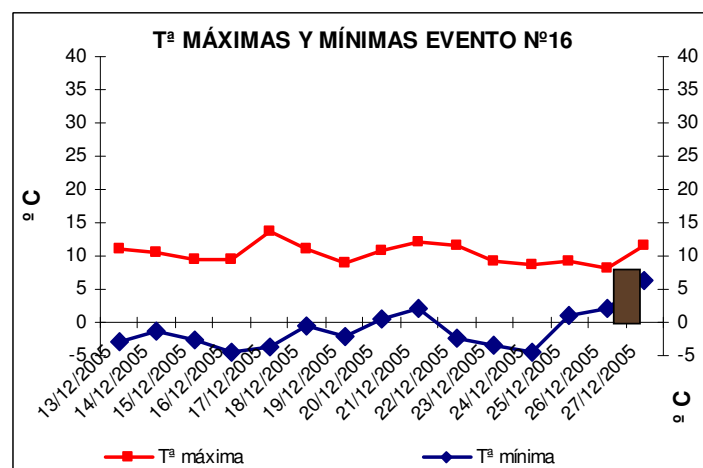
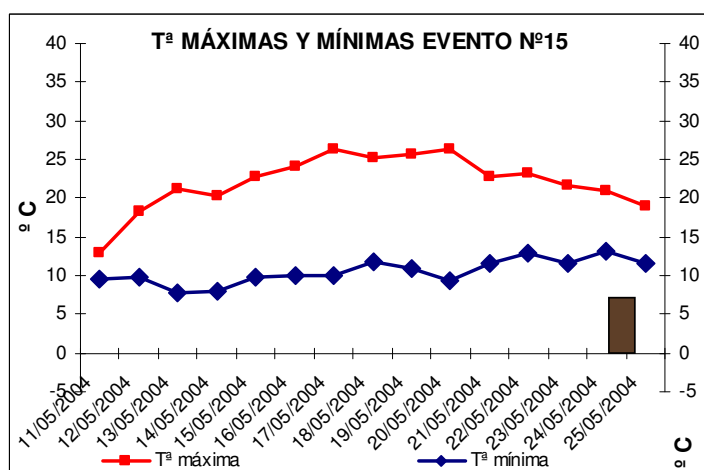
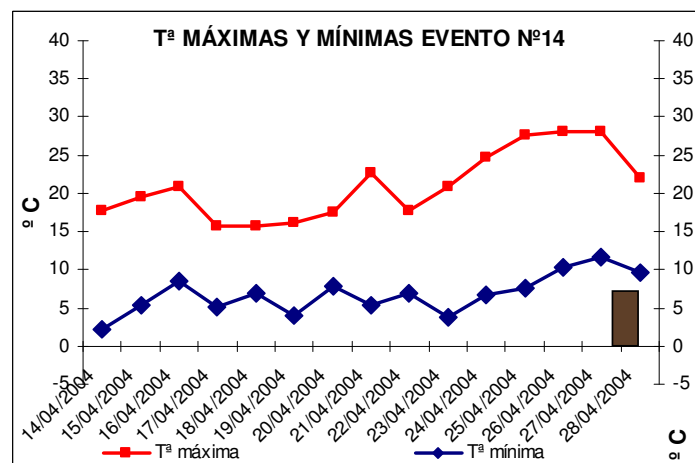
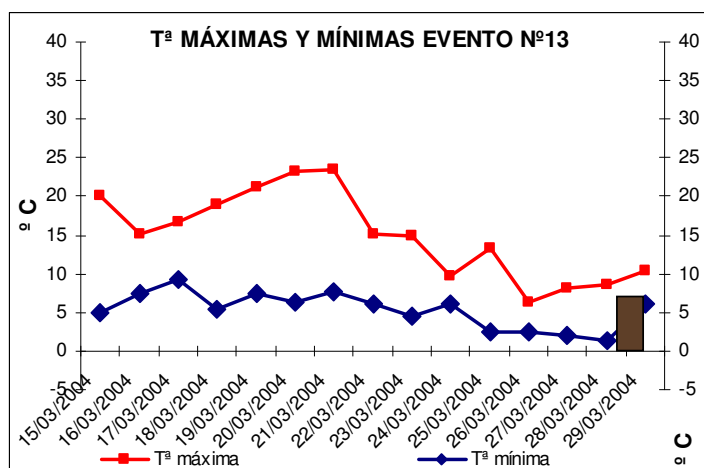
Año 2010

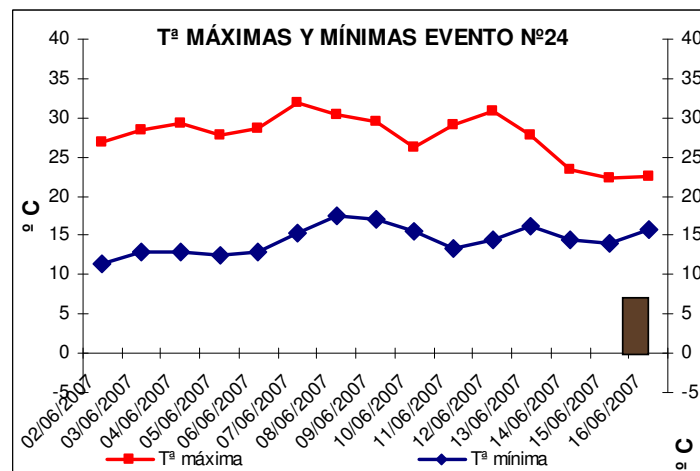
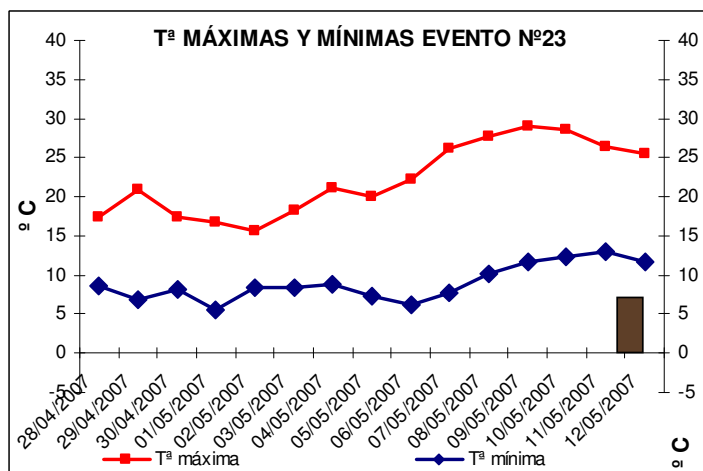
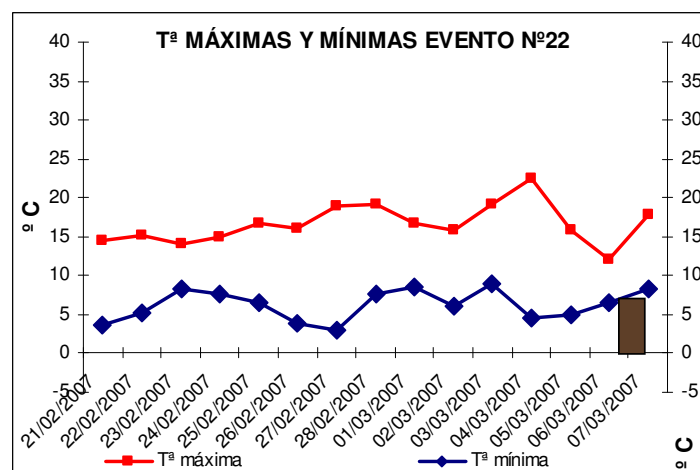
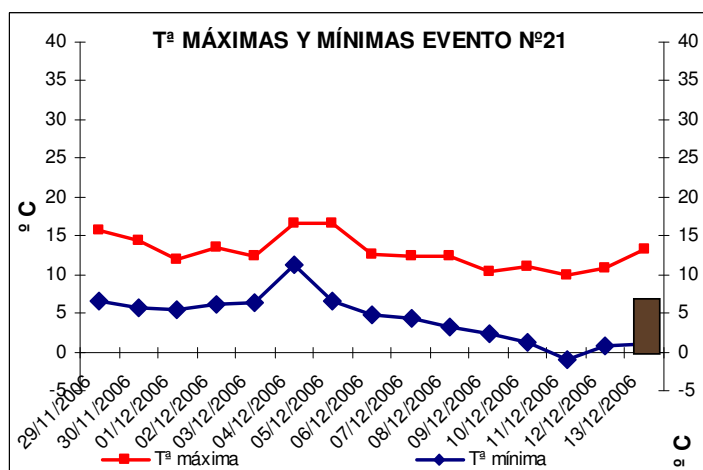
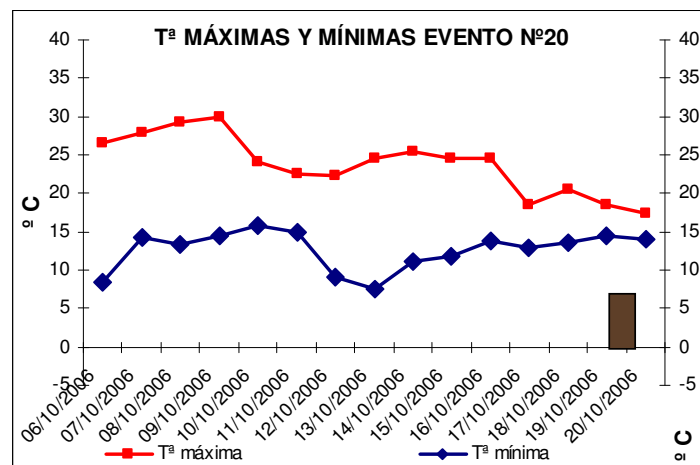
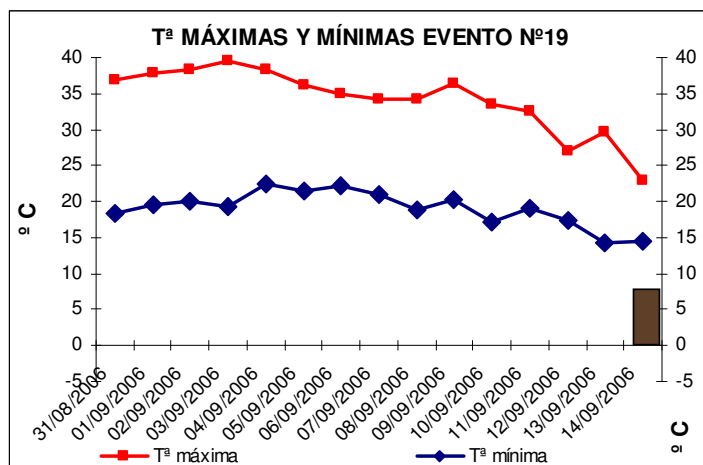


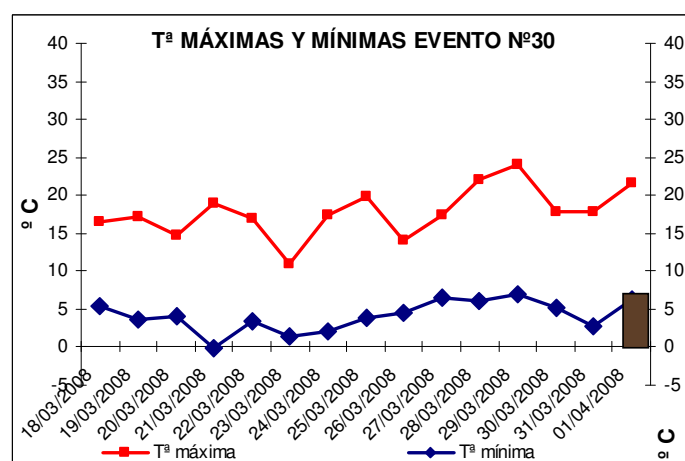
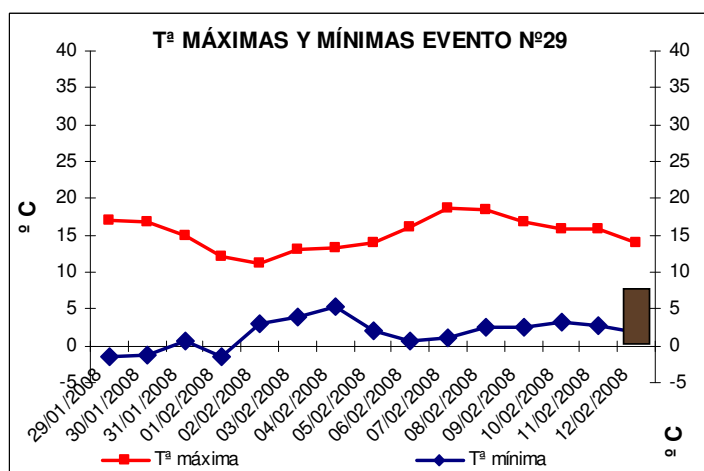
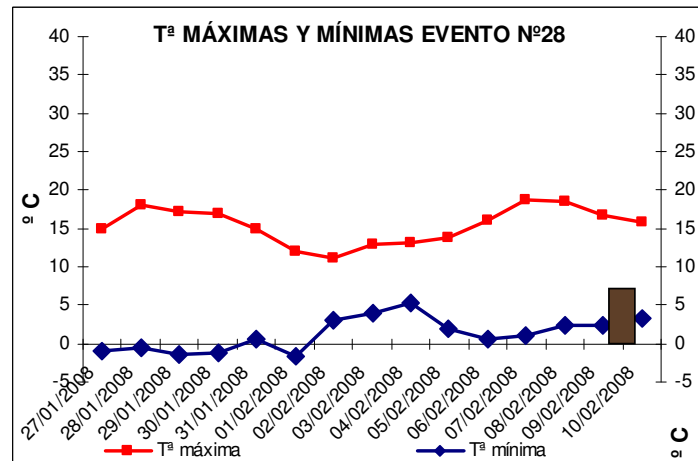
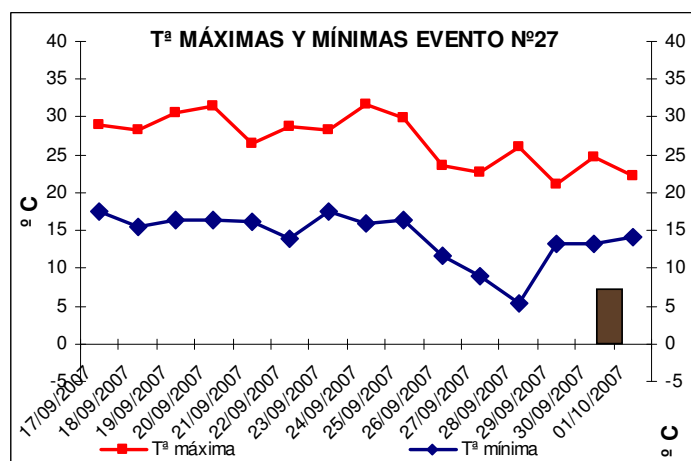
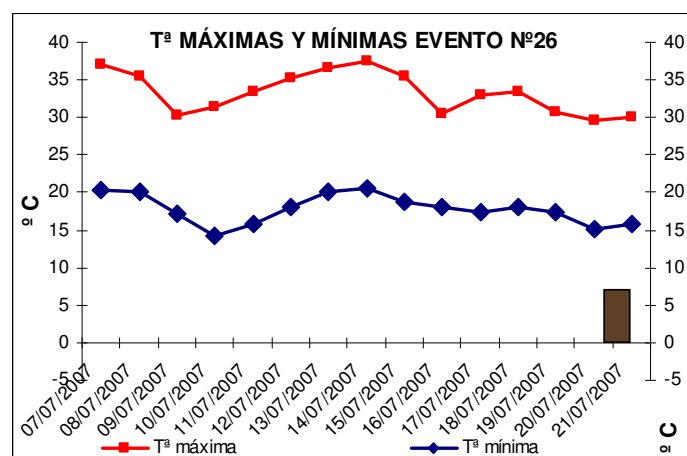
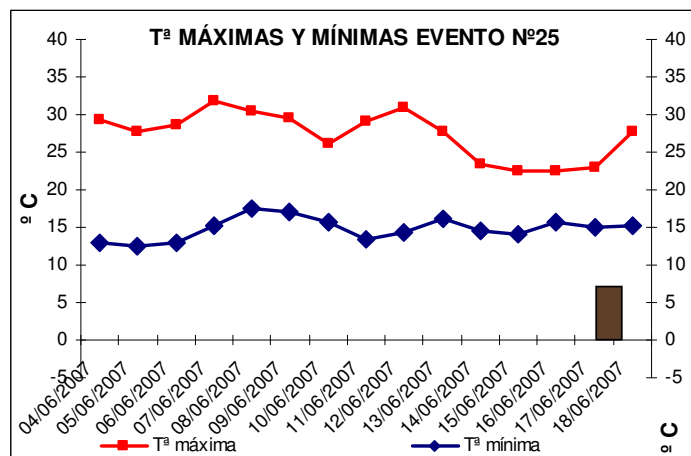
EVOLUCIÓN DE LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS 15 DÍAS PREVIOS AL EVENTO

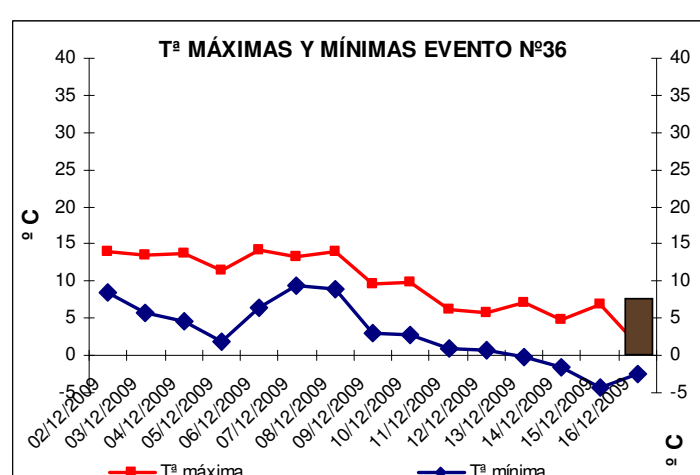
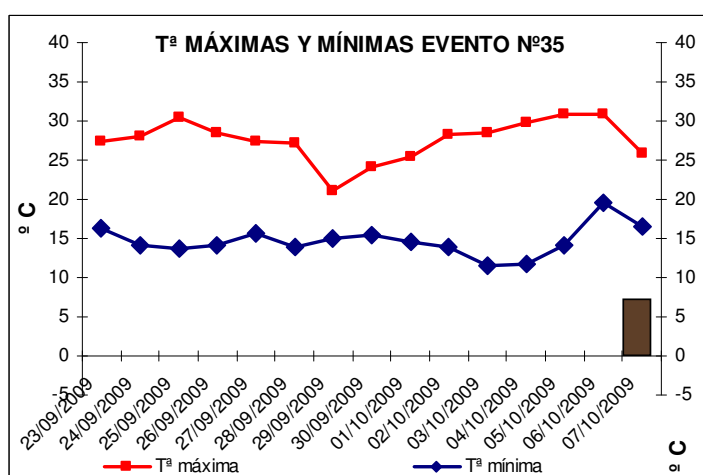
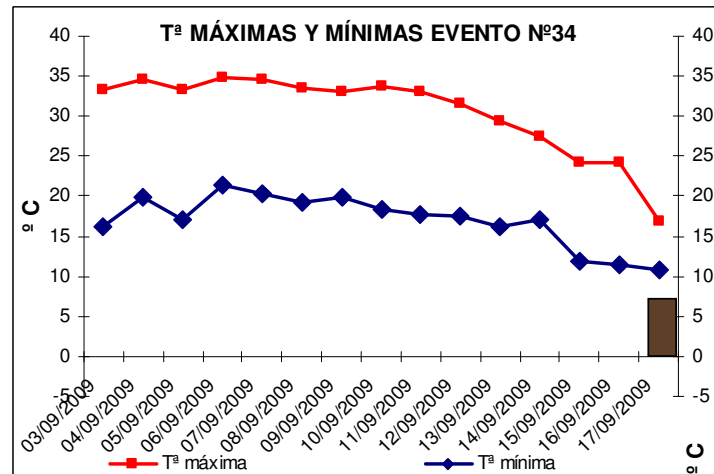
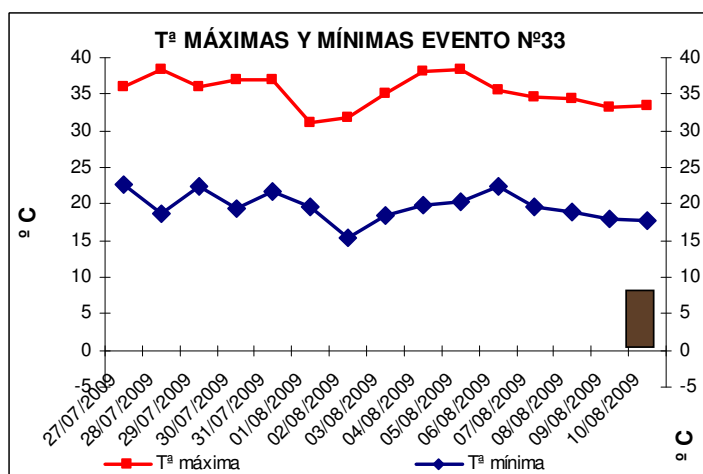
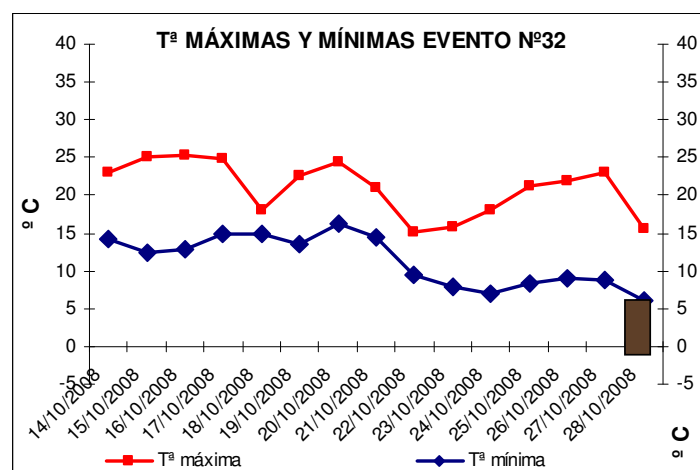
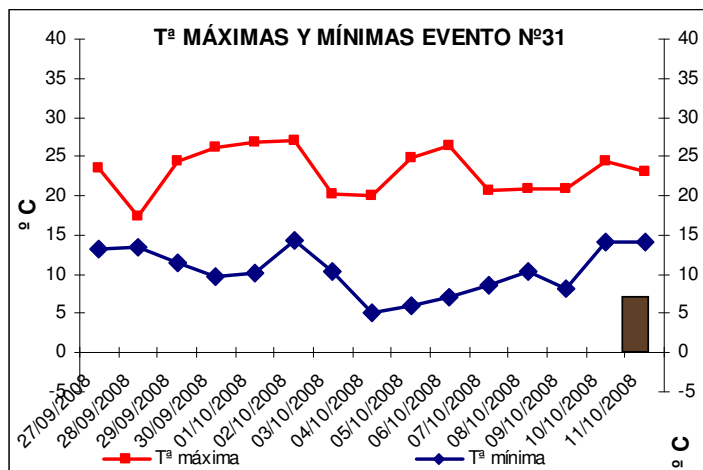


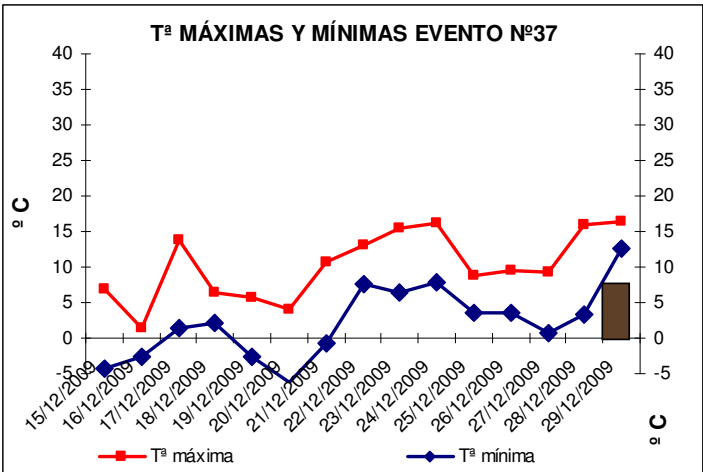




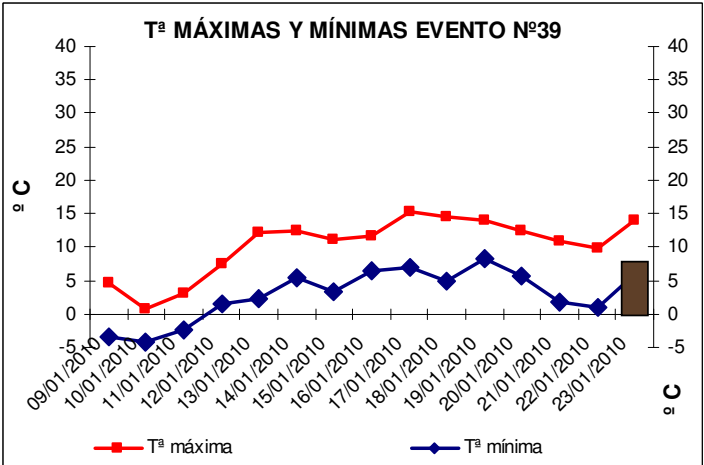
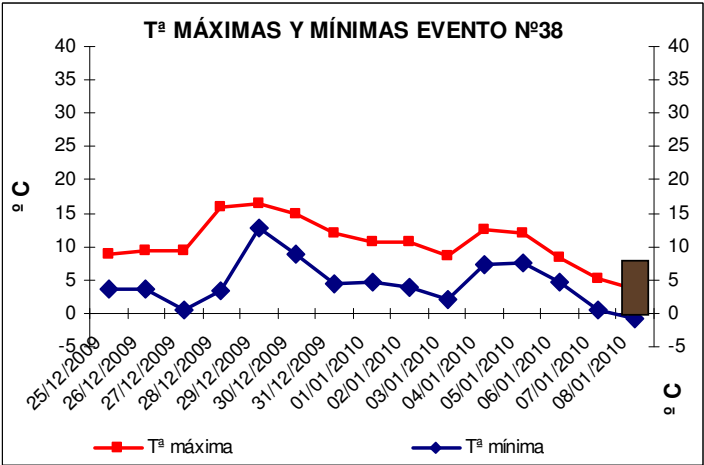




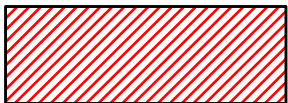
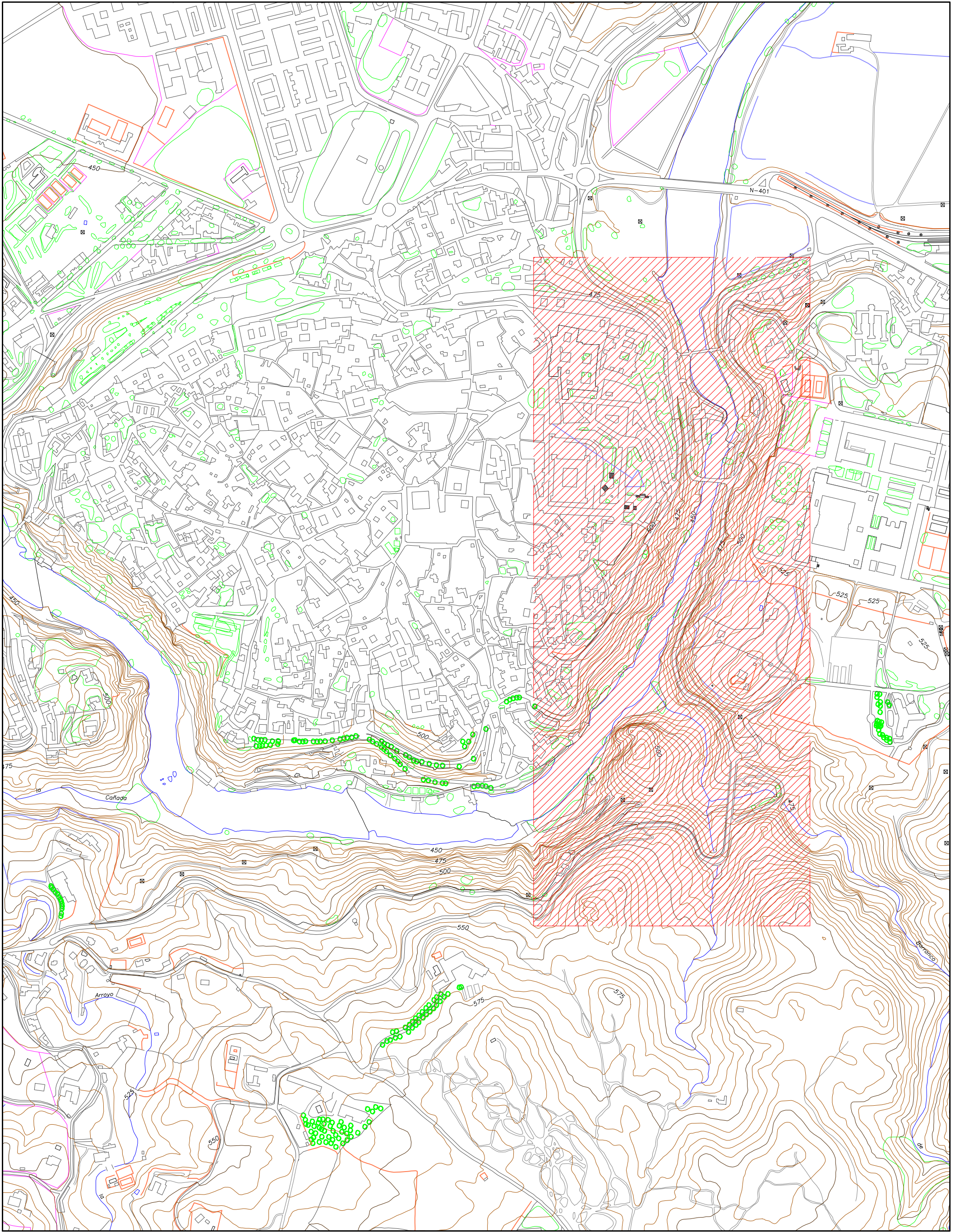




Año 2010



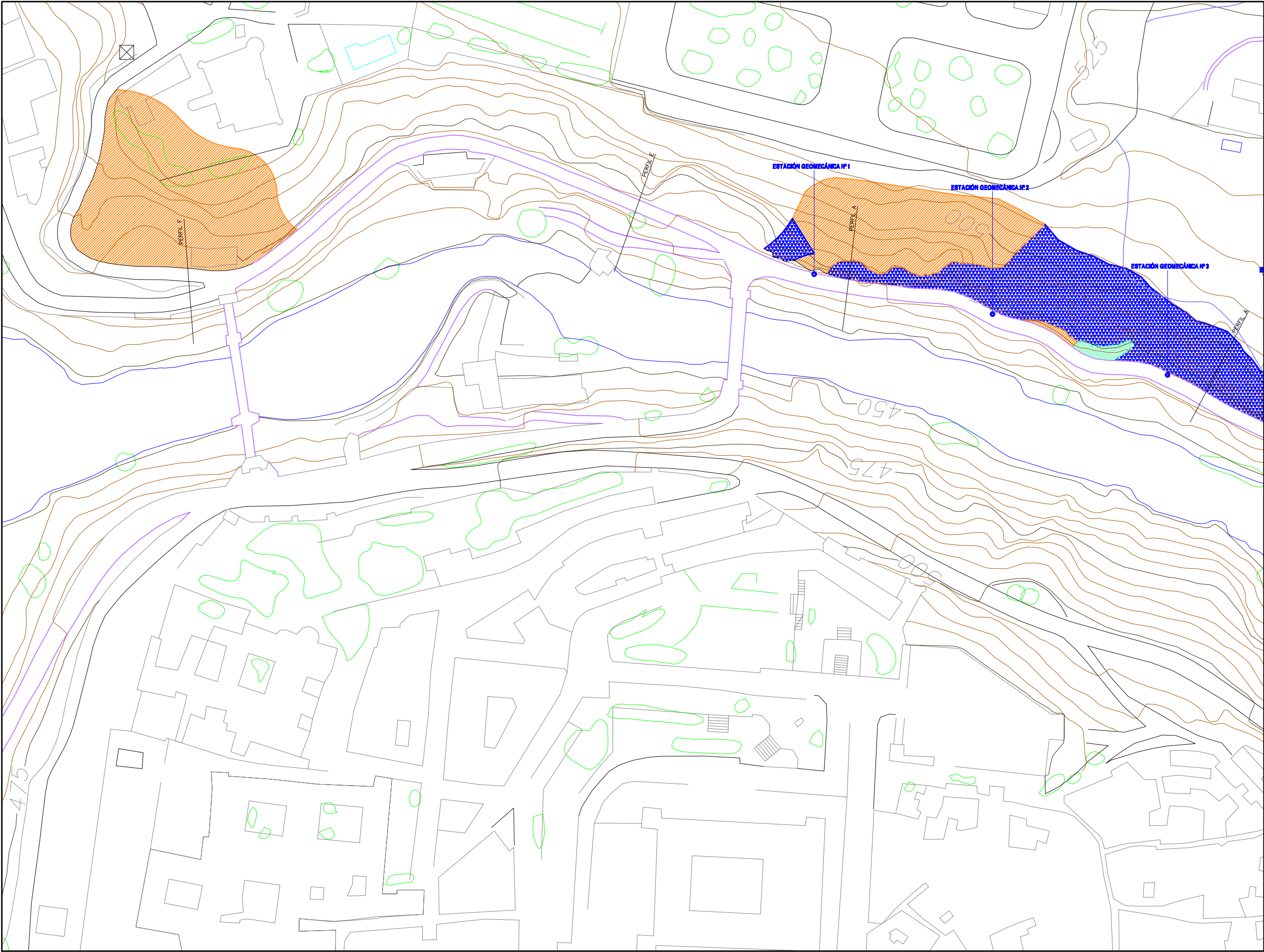
PLANO DE SITUACIÓN

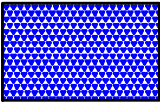
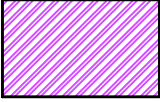


ZONA DE ACTUACIÓN

TERMINO MUNICIPAL DE TOLEDO
ESCALA 1:10.000

PLANO GEOLÓGICO



-  *GNEIS PORFÍROIDE*
-  *MIGMATITA*
-  *GNEIS BIOTÍTICO*
-  *GNEIS*
-  *FALLA*
-  *PERFILES (FIGURA 6 MEMORIA TÉCNICA)*

OBSERVACIONES: Estaciones Geomecánicas
de 2004 (fichas técnicas en Roig, B 2004)

TERMINO MUNICIPAL DE TOLEDO
CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA
ESCALA 1:2.000

