



▲ Klif dat Playa del Verodal begrenst. De (donker)grijze lava en rode lapilli (top) komen duidelijk terug in het zandmonster (zie afb. 10).

## Algemene geologie

# El Hierro, de jongste Canaria

Eiland van aardverschuivingen

door Annemieke van Roekel

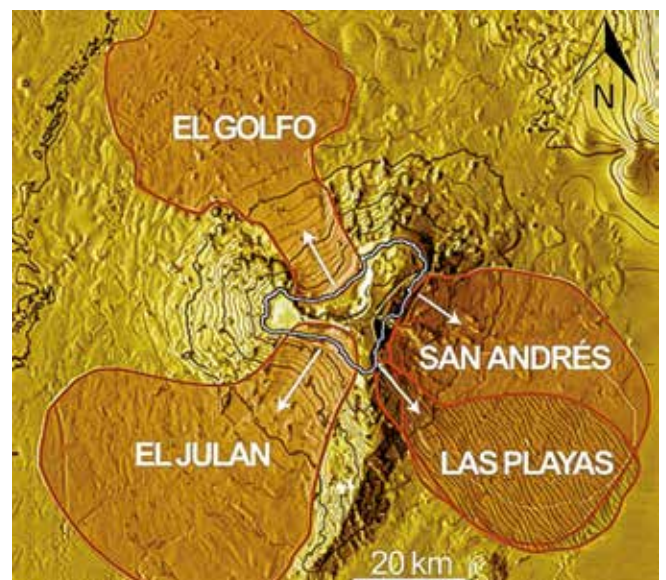
redactie.vanroekel@gea-geologie.nl

El Hierro, het meest zuidwestelijke eiland van de Canarische Archipel, is bedekt met vele sintelkegels en andere jonge vulkanische sedimenten. De uitgesproken drie-armige eilandstructuur wordt bepaald door de structuur van de breukzones in combinatie met de ineenstorting van de flanken van de drie ruggen. Door het recente vulkanisme is het een prachtig Geopark, met uitgestrekte gebieden *malpais* en touwlava en met de door de Canarische den (*Pinus canariensis*) bedekte kegels.

El Hierro is de top van een vulkanisch bouwwerk dat 5,5 km oprijst vanaf de Atlantische Oceaanbodem en 1,5 km boven water uitsteekt. Wat we zien is dus maar het topje van de vulkaan. Als gevolg van grote aardverschuivingen liggen rondom het eiland uitgestrekte puinwaaiers (afb. 1), met een geschat volume van drie maal het huidige deel boven zeeniveau.

## El Golfo

De laatste aardverschuiving op de Canarische Eilanden was ongeveer 15.000 jaar geleden, mogelijk onder zeeniveau, in El Golfo, in het noordwesten van El Hierro (Masson 1996). Maar de eerste grote aardverschuiving in El Golfo deed zich al veel eerder voor, waarschijnlijk rond 130.000 jaar geleden, toen de noordelijke rug instortte. Beide aardverschuivingen vonden plaats in een



▲ Afb. 1. Onderzeese puinwaaiers (aprons), ontstaan door de afschuiving van de flanken. Carracedo & Troll, 2016 (fig. 2.9C). With kind permission.

periode met een zeespiegel die honderd meter lager lag dan nu, tijdens een ijstijd.

Sinds haar ontstaan, 1,12 miljoen jaar geleden, hebben zich op El Hierro vier grote aardverschuivingen voorgedaan en deze hebben de drie-armige vorm van het eiland grotendeels bepaald. Intrusies van *dikes* (gangen) hebben



◀ Afb. 2. De 'krater' van El Golfo, met aan de horizon de Roques de Salmor. Foto in noordelijke richting genomen vanaf de rand van het klif, op ca. 1400 m hoogte.

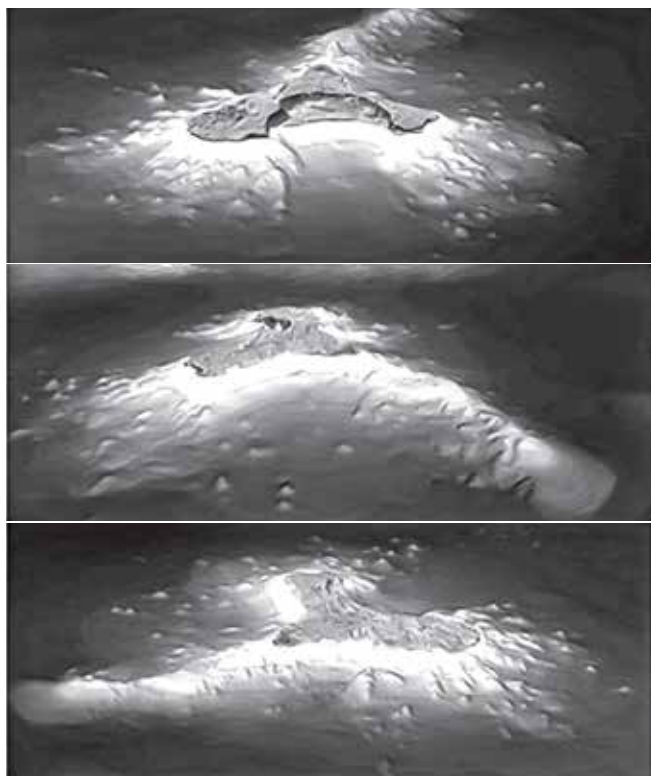
### Abrasieplatform

In de 'krater' van El Golfo heeft zich, grotendeels binnen de grens van een oud abrasieplatform (een hellend of bijna vlak gesteenteoppervlak, gevormd door mariene erosie), een actieve landbouweconomie gevestigd, van vooral grote, met kunststof 'ingepakte' bananen- en ananasplantages. Ook worden er mango's en druiven geteeld. Door de lichte hoogteverschillen kun je er goed fietsen (al is een e-bike aan te raden).

Oorspronkelijk bestond de vlakke van El Golfo (met het stadje Frontera) uit *malpaís* (lett.: 'slecht land'); om het voor landbouw geschikt te maken werd grond en lapilli verplaatst vanuit het vruchtbare centrale deel van het eiland, zoals uit de hoogvlakte Mesa de Nisdafe.

mede tot de instabiliteit van de flanken geleid (Carracedo et al., 2016).

Pas in 1972 interpreteerde de geoloog Hans Hausen de 'krater' van El Golfo (afb. 2) als het resultaat van een mega-landslide, destijds nog zonder de kennis van onderzeese puinwaaiers. Voor die tijd dacht men aan een echte krater, ontstaan door een vulkaanuitbarsting, na een uitstap naar fluviaatiele erosie (riviererosie) als verklaring. Moderne technieken met sonar-data (afb. 3) van de offshore gebieden, en in mindere mate seismiek, leverden het definitieve bewijs van grootschalige prehistorische aardverschuivingen op El Hierro en de andere eilanden. Van alle vier grote aardverschuivingen op El Hierro is die van El Golfo het best zichtbaar en toegankelijk.

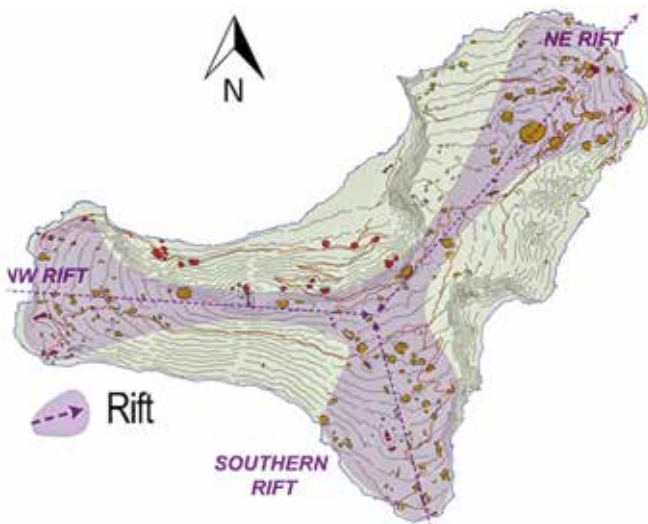


▲ Afb. 3. Zeebodemoppervlak in kaart gebracht met sonar vanuit drie richtingen: noorden (boven), westen (midden) en zuiden (onder). Zeebodemdata zijn belangrijk voor de reconstructie en datering van de aardverschuivingen. Lawinemateriaal van El Golfo is tot 65 km vanaf de kust waargenomen. Bron: CIMA/ Instituto Español de Oceanografía.



▲ Afb. 4. Golven van meer dan vijf meter hoog breken op het paleo-abrasieplatform. De grenzen van het platform naar de diepere delen wordt op veel plaatsen gevormd door basaltzuilen, ontstaan tijdens recente erupties.

Het abrasieplatform is ontstaan als gevolg van meerdere aardverschuivingen en nieuwe erupties tussen 100.000 en 50.000 jaar geleden. De zeespiegel lag toen tussen 40 en 100 m lager (dan nu). Het deel dat nu onder water ligt, wordt goed zichtbaar wanneer de krachtige golven bij sterke NW-wind als een schuimende lawine over het laaggelegen platform heen rollen en gebroken worden (afb. 4), om uiteindelijk te beuken tegen een opstaande rand van basaltzuilen. Aan de traagheid van de golven kun je de enorme afmetingen van het onder zeeniveau gelegen abrasieplatform afleiden. Hier hebben zich langs de kustlijn, op plaatsen met grote hoogteverschillen, door erosie natuurlijke poelen gevormd, waarin zwemmers via ladders kunnen afdalen in oases van water. De grens van



▲ Afb. 5. De drie rifts maken elk een hoek van 120 graden met elkaar. De cirkeltjes zijn kraters of kegels, die geconcentreerd voorkomen op de ruggen. Carracedo & Troll, 2016 (fig. 2.9A). With kind permission.

een hoger gelegen platform ligt ver landinwaarts, enkele honderden meters vanaf de kustlijn. El Golfo heeft een milder klimaat dan de rest van het eiland: in de winter is het er minder koud en in de zomer minder warm. Het is echter niet aan te raden om tussen november en februari aan deze kant van het eiland te verblijven, omdat het er dan vaak stormt; de krachtige rukwinden die gepaard gaan met de *sureste*, en de valwinden (vanwege het klif) maken het onveilig om dan over straat te lopen of te fietsen. Daar komt dan nog bij dat er soms veel stof in de lucht zit, van lokale bronnen of afkomstig van de Sahara (de Calima).

### Driearmige geometrie

De uitgesproken driearmige geometrie van El Hierro correspondeert met de drie breukzones, die elk een



▲ Afb. 6. Geosite Fuga de Gorreta (Frontera). Het klif ontstond door de eerste landslide, rond 130.000 jaar geleden. Hier is de interne structuur van het El Golfo-complex zichtbaar. Verticale dikes doorsnijden de lavalagen; rechtsonder is een puinwaaiertje te zien. De secties in het midden en daaronder zijn gedateerd tussen 442.000 en 158.000 jaar (basalten en trachyten). De bovenste dertig meter is jonger dan 145.000 jaar (lava's en pyroklasten) en dateert uit de jongste vulkanische periode. Datering met paleomagnetisme en K/Ar maakte de (snelle) groei van El Hierro inzichtelijk.

hoek van 120 graden met elkaar vormen (afb. 5). (In het Engels wordt overigens voor zowel spreidings- als breukzone de term *ridge* gebruikt. In het Nederlands associëren we spreiding met plaattektoniek, wat hier niet het geval is.) Deze structuur is ook de basis van de nabij gelegen eilanden La Palma en Tenerife, maar is bij El Hierro meer geaccentueerd als gevolg van het weg-schuiven van alle drie de flanken. De drie ruggen lopen submarijn door, de zuidelijke tot wel 40 km offshore (afb. 3). Hoewel er in recente en historische tijden op El Hierro nauwelijks erupties zijn geweest, wordt vermoed dat deze wel onder zeeniveau hebben plaatsgevonden (Carracedo et al., 2015).

El Hierro is opgebouwd uit drie vulkanische complexen die elkaar grotendeels overlappen, waarvan het Tiñor Complex het oudste is en ruim een miljoen jaar geleden boven water kwam. De oostzijde van Tiñor stortte 880.000 jaar geleden in, wat de eerste (bewezen) grote aardverschuiving op El Hierro geweest moet zijn en



▲ Afb. 7. A. De recente krater van La Hoya de Fireba (diameter 450 m, 160 m diep) is het resultaat van een combinatie van strombolische en hydromagmatische erupties. Deze geosite ligt in het centrum van de drie assen, op de top van de klifwand van El Golfo. B. Detail van de gele lapilli op de kraterwand.

waarbij de helft van het vulkanisch bouwwerk onder de golven verdween. Vanaf 550.000 jaar geleden ontwikkelde zich in het oude afschuivingsgebied van Tiñor een nieuw vulkaancomplex: El Golfo-Las Playas (afb. 6). Tot de derde en laatste fase van de groei van El Hierro wordt de recente vulkanische activiteit gerekend, die 170.000 jaar geleden begon. In die laatste fase schoven

ook de flanken de oceaan in. De meeste eruptiecentra – met concentraties van sintelkegels – liggen op de ruggen (afb. 5).

### Jong eiland

De beweging van de grote aardverschuivingen, die als gevolg van breukactiviteit optrad, staat vrijwel loodrecht op de ruggen. In totaal moet een gesteentemassa van rond 450 kubieke km in zee zijn geschoven, drie maal meer dan het volume van het eiland dat nu boven water uitsteekt. Ter vergelijking: bij de aardverschuiving van de Cumbre Nueva op La Palma, een half miljoen jaar geleden, schoof 200 kubieke km de oceaan in. De duidelijke structuur van de drie ruggen ('dorsales'), in combinatie met de grootschalige aardverschuivingen, maken El Hierro in vergelijking met de andere Canarische Eilanden nóg interessanter voor vulkanologen. Omdat El Hierro een jong eiland is, bevindt het zich in een vroeg stadium van eilandontwikkeling; de andere eilanden van de Canarische Archipel zijn ouder en dus verder in hun eilandevolucie; de latere stadia van erosie en vulkanische activiteit hebben er de oorspronkelijke vulkaancomplexen grotendeels vernietigd of bedekt.

### Hydromagmatische erupties

Op El Hierro zijn uit de derde vulkanische fase enkele voorbeelden van hydromagmatische erupties te zien, wanneer magma in contact komt met (zee)water en de erupties door snelle afkoeling en stoomproductie

– waarbij het volume met een factor duizend toeneemt – explosiever zijn. Het resultaat is de kenmerkende geel/oranje kleur van de tefra, veroorzaakt door de vorming van palagoniet (een mengsel van fyllosilicaten en zeoliet), zoals bij de krater van Hoya de Fireba (ook een geosite, afb. 7A&B). Een tweede voorbeeld is te vinden nabij het strand van Verodal (zie ook de kadertekst over het zandmonster): een door de gele kleur opvallende ontsluiting van een deel van een tufring (afb. 8).

### Meridiaan van Ferro

De geografische geschiedenis van het meest westelijke deel van El Hierro kan hier niet onvermeld blijven! In de antieke tijd werd de Canarische Archipel immers beschouwd als het einde van de dan bekende wereld. Op enkele kilometers van het strand van El Verodal ligt Punta de la Orchilla, nabij de gelijknamige vulkaan, met vlakbij de vuurtoren. Een gedenksteen brengt in herinnering dat El Hierro door de Griekse geograaf/ wiskundige/ astronoom Ptolemaeus in de 2<sup>e</sup> eeuw n.Chr. werd beschouwd als het einde (of het begin) van de bewoonde wereld (afb. 11A&B). Na de Grieks-Romeinse tijd gold de 'meridiaan van Ferro' nog eeuwenlang als referentie. Tot de Nederlandse Gouden Eeuw werd deze 'nulmeridiaan' genoteerd op zeevaarderskaarten.

In 1795 kaaptten de Britten deze positie met de "nulmeridiaan van Greenwich" (bij Londen), die 18 graden oostelijker ligt dan de Ferro-meridiaan. Eind 19<sup>e</sup> eeuw werd

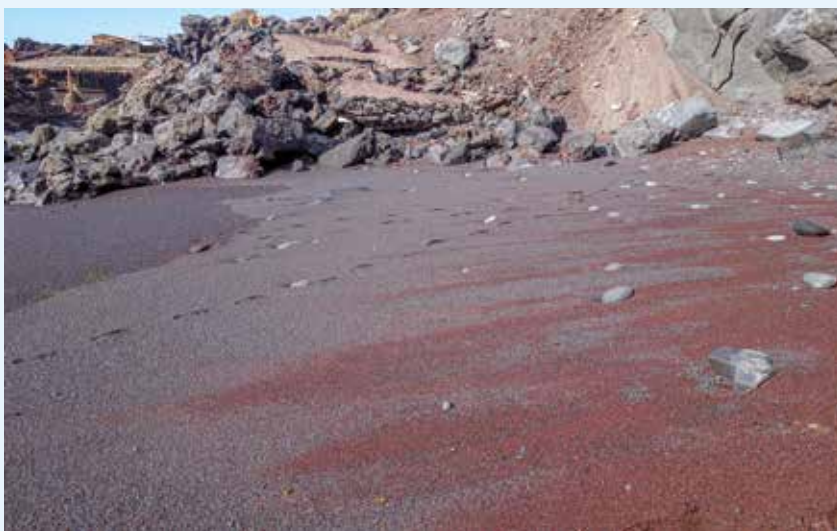


Afb. 8. Ontsluiting van een tufring, gevormd door een hydromagmatische explosie, in het uiterste westen van El Hierro (La Hoya del Verodal). Typisch voor dit gesteente is de geel-oranje kleur.

## Zand van het rode strand van Verodal

Aan de voet van het El Vallito-klif, aan het einde van de noordwestelijke breukzone (NW RIFT op afb. 5), ligt het 'rode strand' van Verodal (afb. 9). Op de top van het klif ligt een rode kegel van lapilli: Montaña de los Charcos (zie de openingsfoto). Hoewel het strand uit de verte op het eerste gezicht grijs oogt, heeft het zand van dichtbij een zweem van rood en valt ook op hoe grof het zand is. De macrofoto's van het zand van Verodal komen duidelijk overeen met de bronnen: de lava (klif) en lapilli (van de kegel erboven), die het strand insluiten. De korrels zijn zwart, donkergrijs en rood en bestaan uit onveranderde tot gedeeltelijk geoxideerde basaltfragmenten (afb. 10A&B en de achterplaat). Afb. 10C toont uit het zandmonster geïsoleerde olivijnkorrels.

Over het maken van de macrofoto's en de voorbereiding vertelt fotograaf Jacques Feijen (van de Werkgroep Zand van GEA) het volgende: "Het zand heb ik eerst enkele malen gewassen om het zoutlaagje om de korrels te verwijderen en eventuele organische deeltjes en klei eruit te wassen. Daarna heb ik het zand op de radiator gedroogd. Vervolgens heb ik het gezeefd, want alleen korrels tussen de 2 en 0,064 mm rekenen we tot zand.



Afb. 9. Het strandzand van Playa del Verodal bestaat uit een mengsel van rode en (donker)grijze, vrij grove zandkorrels, die enigszins door de golfslag worden gescheiden.

Als dit voorwerk is gedaan, registreer ik het zandmonster in een Excel-bestand met o.a. de bijbehorende GPS-coördinaten. Voor het fotograferen neem ik een half theelepeltje zand, wat ik overbreng in een petrischaaltje. Dat leg ik onder mijn foto-installatie en ik start met fotograferen. De beeldbreedte meet ik na het nemen van de foto.

Soms isoleer ik korrels met een heel fijne pincet en een fijn penseeltje. Zo kan ik de details beter fotograferen of er een speciale korrel extra uitlichten. Soms gebruik ik een magneet om korrels die magnetisch reageren te onderzoeken.

Het is lastig om de verhouding tussen de verschillende mineralen weer te geven. In het hier beschreven zandmonster van Verodal schat ik dat 5% van de korrels uit olivijn (afb. 10C) bestaat. Afb. 10A is een overzichtsfoto, d.w.z. deze geeft een representatief beeld van de korreltypeverhouding. Het monster op afb. 10B bevat magnetiet; de kristalvorm is herkenbaar."



Afb. 10. Macrofoto's van het 'rode zand' van Playa del Verodal. Het zand correspondeert met de bronnen direct boven het strand: het El Vallito-klif (lava) en de rode kegel erboven: Mña. de los Charcos. A. De zwarte, donkergrijze en rode korrels bestaan uit onveranderde tot gedeeltelijk geoxideerde basaltfragmenten, met vaak goed zichtbare gasbelletjes. B. Geïsoleerde zandkorrels die magnetiet bevatten, ook herkenbaar aan de kristalvorm. C. De groene olivijnkorrels zijn uit het zandmonster geïsoleerd. Beeldbreedte 10A&B&C is 8 mm. Foto's: Jacques Feijen.



▲ Afb. 11. A. Kaart uit 1467 door de Duitse cartograaf Nicolaus Germanus, op basis van de 'Geographia' van Ptolemaeus; de kaart 'begint' bij El Hierro (Ferro). B. Sommigen (ook bekende) cartografen weken hiervan af, zoals te zien is op deze visserijkaart uit 1720, waarop "de Eerste Meridiaan" niet over Ferro, maar "de Piek van de Canarie" (de Teide op Tenerife) is getrokken. Beide kaarten: publiek domein.



◀ Afb. 12. Pyroklastisch materiaal, van grof naar fijn. Opstelling in het Geologisch Museum in El Pinar. Tot lapilli worden hoekige of ronde pyroklastische fragmenten gerekend met een diameter tussen 2 en 64 mm.

internationaal besloten om Greenwich als de referentiemeridiaan te gebruiken, maar in sommige landen, zoals Duitsland en Oostenrijk, wordt de Ferro-meridiaan nog steeds als aanvullende referentiemeridiaan gebruikt.

## Geopark

El Hierro is een Geopark sinds 2014, en hierdoor zijn er aardig wat informatiecentra opgetuigd, zoals het Centro de Interpretación del Geoparque en het Centro de Interpretación de la Reserva de la Biosfera. Maar het best uitgeruste museum is toch wel het Geologisch Museum in El Pinar, waar de eilandevolucie aan de hand van grote foto's, schema's en allerlei vulkanisch gesteente wordt uitgelegd (afb. 12).



▲ Afb. 13. A&B. De *lajiales* (vrij vlakke met lava bedekte terreinen) met touwlavastructuren omringen het Geopark Informatiecentrum.

## Drijvende stenen

Het Centro de Interpretación del Geoparque ligt aan de weg naar het meest zuidelijke stadje La Restinga, middenin een lavaveld met mooie structuren van touwlava, lavatunnels en kegels (afb. 13 en 14).

Spectaculaire filmbeelden worden daar vertoond van drijvende, dampende stenen, van 10 tot 40 cm in doorsnee, die vrijkwamen tijdens de meest recente eruptie in 2011, 5 km voor de kust van La Restinga (afb. 15A-D).

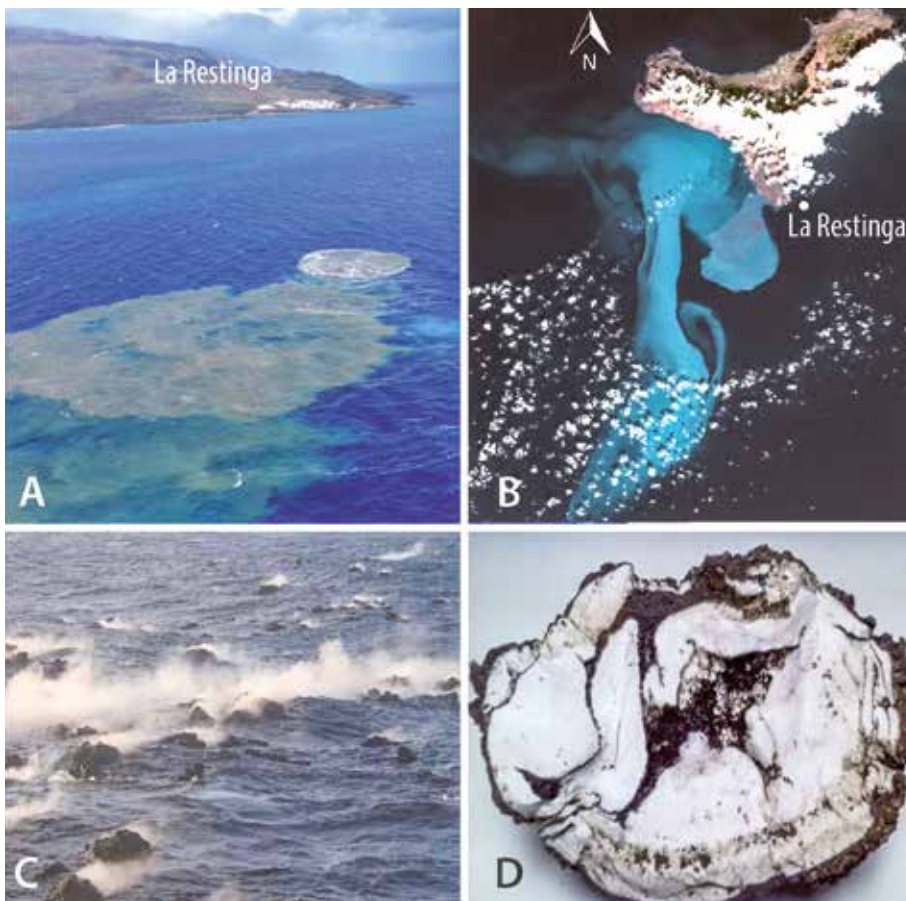
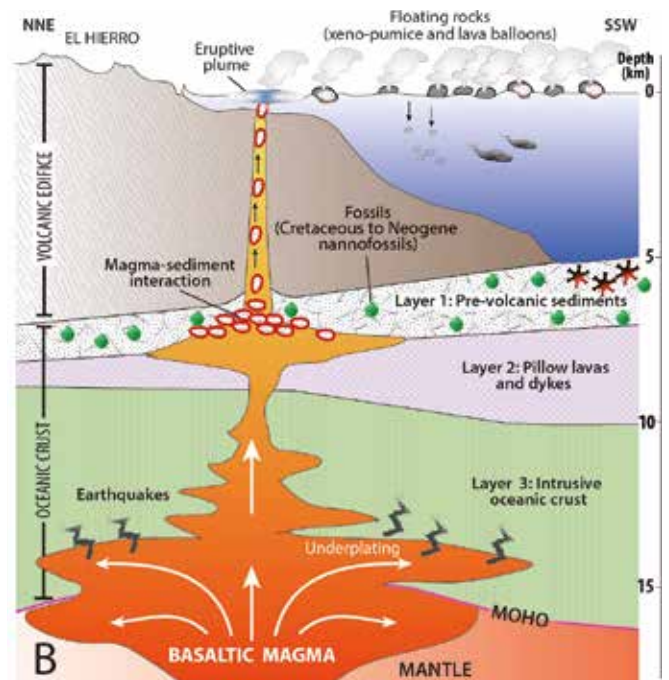


▲ Afb. 14. Een kegel van rode lapilli vlakbij La Restinga.

Vergelijkend onderzoek van de zeebodem laat zien dat op de flank van de zuidelijke submariene rug een 100 m hoge, nieuwe kegel is gevormd.

Er bleken twee typen drijvende stenen te zijn: holle ‘lavaballonnen’ van basalt en schuimig “xeno-puimsteen”: vulkanische bommen gevuld met glasachtig op puimsteen lijkend materiaal met veel blaasjes, waaraan ze hun drijfvermogen danken. Deze drijvende stenen zijn een zeldzaamheid in de vulkanologie.

Vaak zonken ze nadat de poriën met water werden gevuld; ook spoelden er veel aan. Ze werden opgeraapt en gekoesterd door de Herreños, de bewoners van El Hierro. Een mysterie zijn de witte ‘restingolieten’, zoals ze lokaal worden genoemd, niet meer. Op basis van de mineralogie, chemie en isotopensamenstelling worden ze geïnterpreteerd als xenolieten, afkomstig van pre-vulkanische sedimenten op de oceaانبodem (Troll et al., 2012). Ze bevatten kwarts, wat ongebruikelijk is voor de vulkanische gesteenten van El Hierro,



▲ Afb. 16. Doorsnede van de structuur van El Hierro, dat de oorsprong van de drijvende xeno-puimsteen (lokaal “restingoliet” genoemd) en lavaballonnen verklaart. De drijvende stenen, met korsten van basalt, zijn gevormd door interactie van magma met pre-vulkanische sedimenten, direct op de kussenlava’s, uit de begintijd van het submariene vulkaan-complex. Carracedo et al. 2015 en Carracedo & Troll, 2016 (fig. 2.18B). With kind permission.

◀ Afb. 15. Beelden van de onderzeese eruptie bij La Restinga in 2011. A. Het groengekleurde zeewater - lokaal “La mancha” (“de vlek”) genoemd - was het resultaat van in zeewater opgeloste vulkanische gassen en suspensie. Foto: Guardia Civil. B. Satellietbeeld van de gaspluim. Foto: RapidEye. C. Ontgassende drijvende ‘lavaballonnen’ en xeno-puimsteen. Foto: Guardia Civil. D. Xeno-puimsteen. A-D in: Carracedo & Troll, 2016 (fig. 2.17A-D). With kind permission.

## Fossielen van reuzenhagedissen

Fossilvondsten, waarvan de oudste aangetroffen zijn bij het oostelijke klif Risco de Los Herreños, wijzen uit dat over het hele eiland verschillende soorten (reuzen)hagedissen hebben geleefd. In 1975 werd de uitgestorven gewaande *Gallotia simonyi* met de hulp van geitenhoeders ontdekt op het klif van Fuga de Gorreta (zie ook afb. 6). Dit 60 cm lange dier is een andere ondersoort dan die tot een kleine eeuw geleden nog leefde op Roques Chico de Salmor (zie ook afb. 2). In de oudste hierover bekende 15<sup>e</sup>-eeuwse geschriften worden ze door zeevaarders beschreven als “zo groot als katten” en “walgelijk om te zien”.

Eind vorige eeuw is een fokprogramma gestart (afb. 17) en is de *Gallotia simonyi* succesvol uitgezet in het wild. Ze blijven echter kwetsbaar en concurreren om voedsel en ruimte met geiten en andere hagedissen. Ook de andere Canarische Eilanden hebben hun eigen endemische (fossiele) reuzenhagedissen, en op afgelegen plaatsen worden soms nieuwe (levende) soorten gevonden, zoals op Tenerife en La Gomera in resp. 1995 en 1999.

Afb. 17. De El Hierro Giant Lizard (*Gallotia simonyi*) in het Centro de Recuperación del Lagarto Gigante de El Hierro, Frontera.



en recent hebben onderzoekers er nannofossielen van Krijt- en Jura-ouderdom in aangetroffen. Vulkanologen denken dat deze sedimenten, die direct op de kussenlava's liggen (*layer 1* van de oceaankorst) met magma hebben gereageerd en met het ontgassen naar boven zijn getransporteerd (afb. 16).

Ook bij de laatste uitbarsting van La Palma (in sept.–dec. 2021) is xeno-puimsteen aangetroffen. De vulkanoloog/ petroloog Valentin Troll en zijn Spaanse collega's analyseren momenteel de mineralogie en ontstaanswijze van dit materiaal. In een volgend Geanummer zal hier aandacht aan worden besteed.

*Veel dank aan Valentin Troll voor het uitbreiden van de mineralogische informatie en aan Valentin Troll en Juan Carlos Carracedo voor het gebruik van de afbeeldingen 1, 5, 15 en 16. Foto's zonder naamsvermelding zijn van de auteur.*

### Referenties en meer lezen

- Ariel, A. & N. Ariel Berger (2006). Plotting the Globe. Praeger Publishers.
- Carracedo, Juan Carlos, Francisco Pérez Torrado, Alejandro Rodríguez González, Vicente Soler, José Luis Fernández Turiel, Valentin R. Troll, Sebastian Wiesmaier (2012). The 2011 submarine volcanic eruption in El Hierro (Canary Islands). *Geology Today* 28 (2), 53–58. doi.org/10.1111/j.1365-2451.2012.00827.x.
- Carracedo, Juan Carlos, Valentin R. Troll, Kirsten Zaczek, Alejandro Rodríguez-González, Vicente Soler, Frances M. Deegan (2015). The 2011–2012 submarine eruption off El Hierro, Canary Islands: New lessons in oceanic island growth and volcanic crisis management. *Earth–Science Reviews* 150, 168–200. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.06.007>.
- Carracedo, Juan Carlos & Valentin R. Troll (2016). The geology of the Canary Islands. Elsevier. doi.org/10.1016/C2015-0-04268-X.
- Carracedo, Juan Carlos (2020). Erupciones recientes de Canarias. Casos confusos, curiosos y terroríficos. Fundación Canaria Añazo Nova.
- Gee, Martin J.R., Anthony B. Watts, Douglas G. Masson, Neil C. Mitchell (2001). Landslides and the evolution of El Hierro in the Canary Islands. *Marine Geology* 177, 271–293. doi.org/10.1016/S0025-3227(01)00153-0.
- León, R., et al. (2017). Multi-event oceanic island landslides: New onshore-offshore insights from El Hierro Island, Canary Archipelago, *Marine Geology* 393, 156–175. dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2016.07.001.
- Rietman, Lex. Canarisch eiland worstelt met klimaatambities. *Financieel Dagblad* 29 oktober 2021.
- Rodríguez Domínguez, M.A. (2006). The Hierro Giant Lizard. Publicaciones Turquesa.
- Rodríguez Domínguez, Miguel Angel, Carolina Castillo, Sixto Sanchez, Juan Jesus Coello (2000). El Lagarto Gigante de el Hierro. Publicaciones Turquesa.
- Troll, V. R., Klügel, A., Longpré, M.–A., Burchardt, S., Deegan, F. M., Carracedo, J. C., Wiesmaier, S., Kueppers, U., Dahren, B., Blythe, L. S., Hansteen, T. H., Freda, C., Budd, D. A., Jolis, E. M., Jonsson, E., Meade, F. C., Harris, C., Berg, S. E., Mancini, L., Polacci, M., and Pedroza, K. (2012). Floating stones off El Hierro, Canary Islands: xenoliths of pre-island sedimentary origin in the early products of the October 2011 eruption, *Solid Earth* 3, 97–110. doi.org/10.5194/se-3-97-2012.
- Masson, D.G. (1996) Catastrophic collapse of the volcanic island of Hierro 15 ka ago and the history of landslides in the Canary Islands. *Geology* 24 (3): 231–234.
- Masson, D. G., Watts, A. B., Gee, M. J. R., Urgeles, R., Mitchell, N. C., Le Bas, T. P. Canals, M. (2002). Slope failures on the flanks of the western Canary Islands. *Earth–Science Reviews* Vol. 57, 1–35. doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00069-1.
- Zaczek, K., Troll, V., Cachao, M. et al. Nannofossils in 2011 El Hierro eruptive products reinstate plume model for Canary Islands. *Sci Rep* 5, 7945 (2015). <https://doi.org/10.1038/srep07945>.