PERÚ Ministerio del Ambiente Instituto Geofísico del Perú - IGP

Aplicaciones isotópicas en recursos hídricos

PhD. James Apaéstegui C.
Investigador Científico Superior
Instituto Geofísico del Perú.

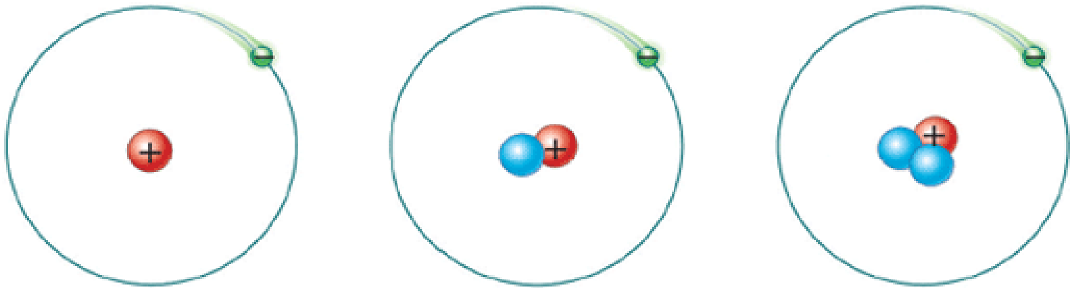
japaestegui@igp.gob.pe

La hidrología a base de isótopos ambientales constituye un campo de investigación relativamente nuevo en el Perú.

Al observar e interpretar las características isotópicas se puede obtener información de alcance regional acerca del **origen, la renovación y el tiempo de tránsito del agua en el sistema considerado**, información que, con frecuencia, no es posible obtener por otros métodos.

Isótopos

Un **isótopo** es un átomo cuyo núcleo tiene el mismo número de protones pero diferente número de neutrones.

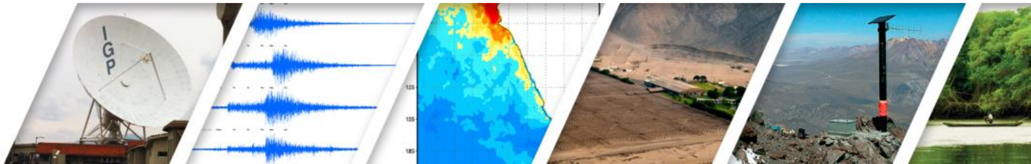


Hidrógeno $^{1}_{1}\mathrm{H}$
1 protón
1 electrón

Deuterio $^{2}_{1}\mathrm{H}$
1 protón
1 electrón
1 neutrón

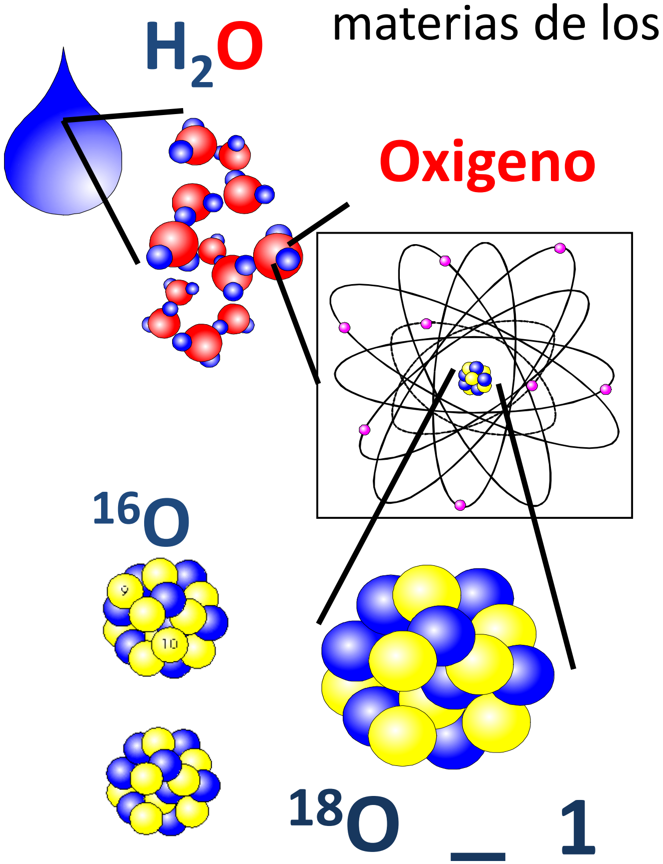
Tritio $^{3}_{1}\mathrm{H}$
1 protón
1 electrón
2 neutrones

Los isótopos ambientales de mayor interés hidrológico son:
Estables: Deuterio (D o $\mathbf{H^{2}}$), Carbono-13 **(δ^{13}C)**, Oxígeno-18 **(δ^{18}O)**
Radiactivos: Tritio ($\mathbf{H^{3}}$) y Carbono-14. **C14**



Isótopos Estables

Isótopos de H y O constituyen trazadores geoquímicos ideales de las aguas, sus concentraciones no suelen alterarse por interacción con las materias de los acuíferos.



$$\frac{^{18}O}{^{16}O} = \frac{1}{500}$$

Isótopos de oxigeno

Fraccionamiento es el proceso donde un isótopo es favorecido durante un cambio de fase

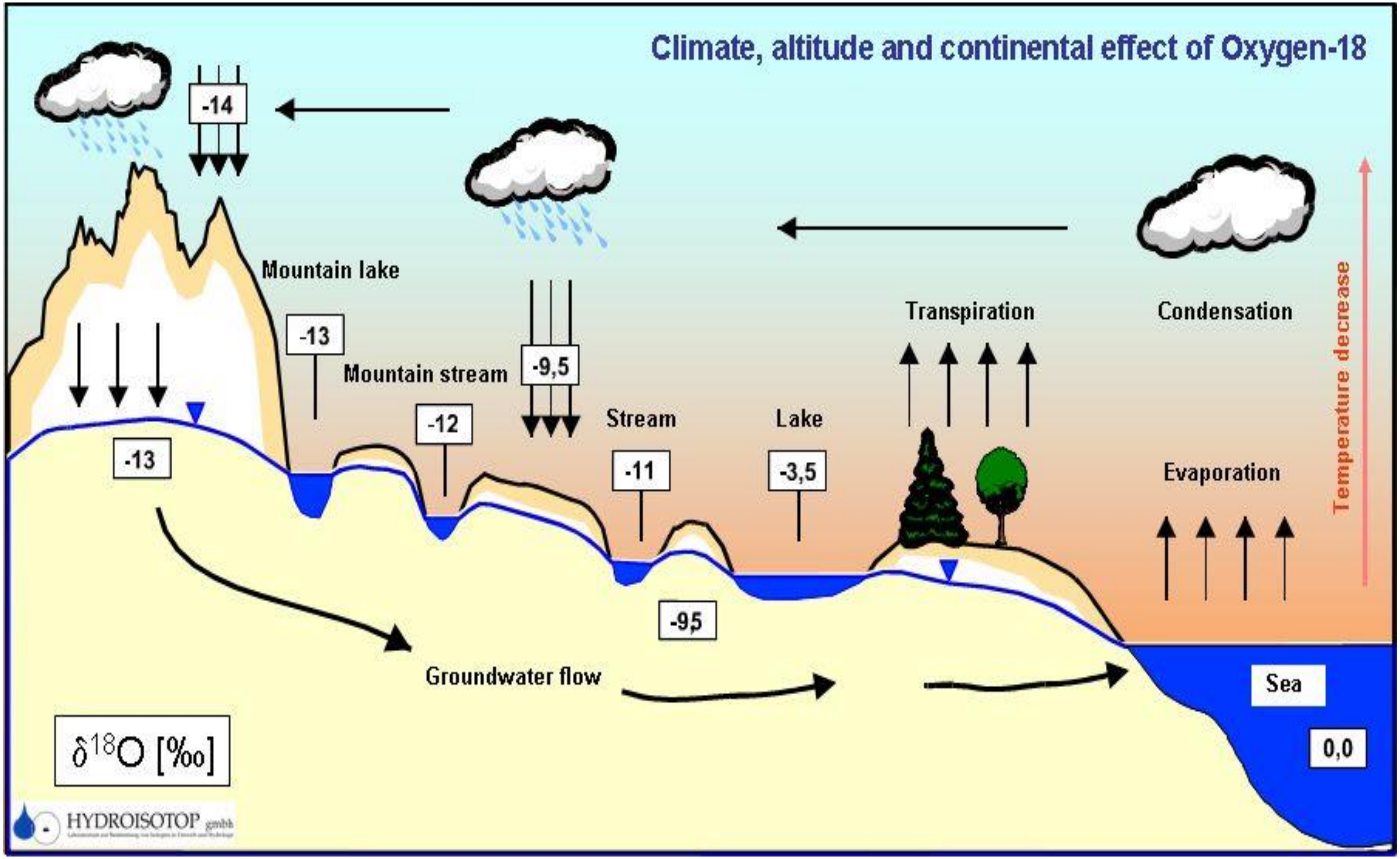
$$\delta = \left[\frac{(^{18}O/^{16}O)_{amostra}}{(^{18}O/^{16}O)_{padrão}} - 1 \right] \times 1000$$

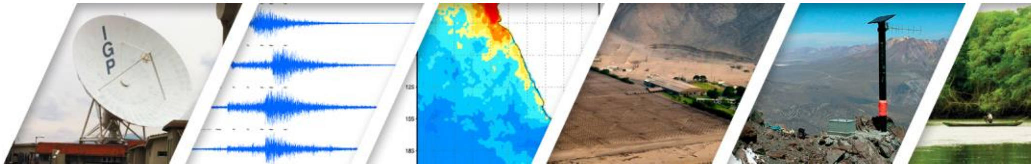
+↑ **Enriquecido em ^{18}O**

-↓ **Empobrecido em ^{18}O**

Vienna Peedee Belemnite (VPDB)
Viena Standard mean ocean water. (VSMOW)

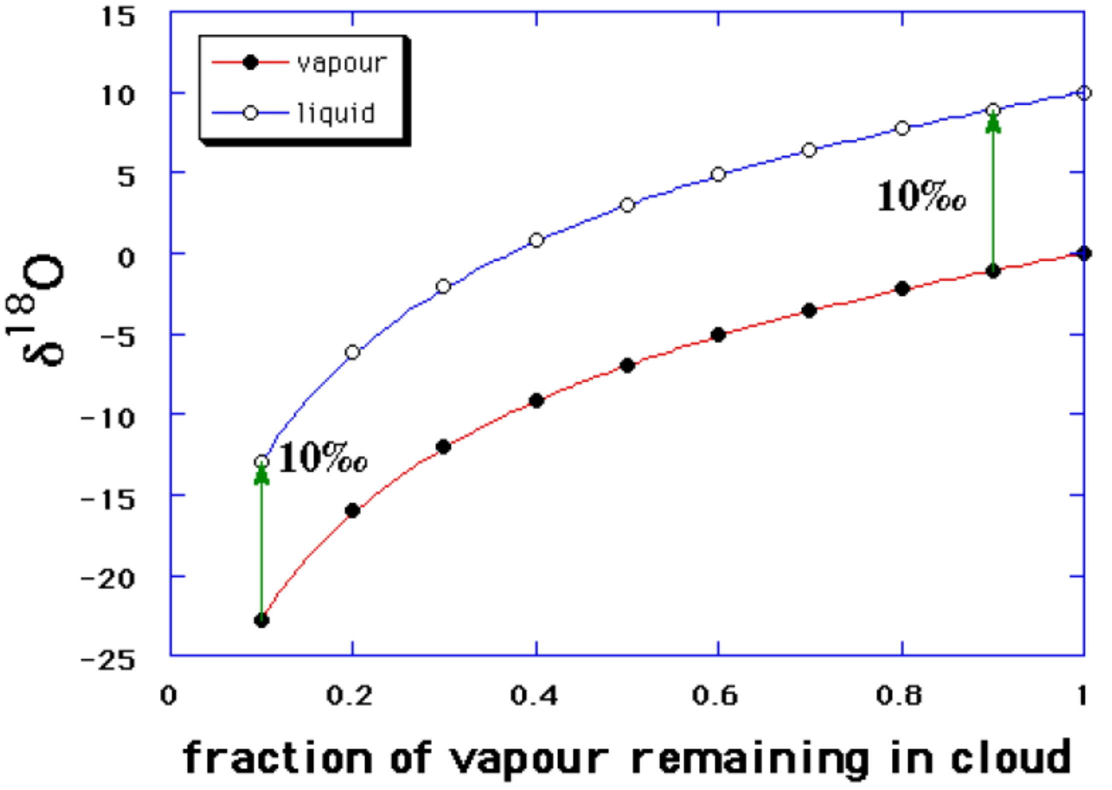
Los procesos naturales más importantes que hacen variar la composición isotópica estable de las aguas naturales son la evaporación y la condensación.


Climate, altitude and continental effect of Oxygen-18
-14
Mountain lake
-13
Mountain stream
-9,5
-12
-13
Stream
-11
Lake
-3,5
Transpiration
Condensation
Evaporation
Temperature decrease
-9,5
Groundwater flow
Sea
0,0
δ18O [‰]
HYDROISOTOP gmbh



Procesos físico relacionados al fraccionamiento isotópico en el agua atmosférica.

Destilación Rayleigh

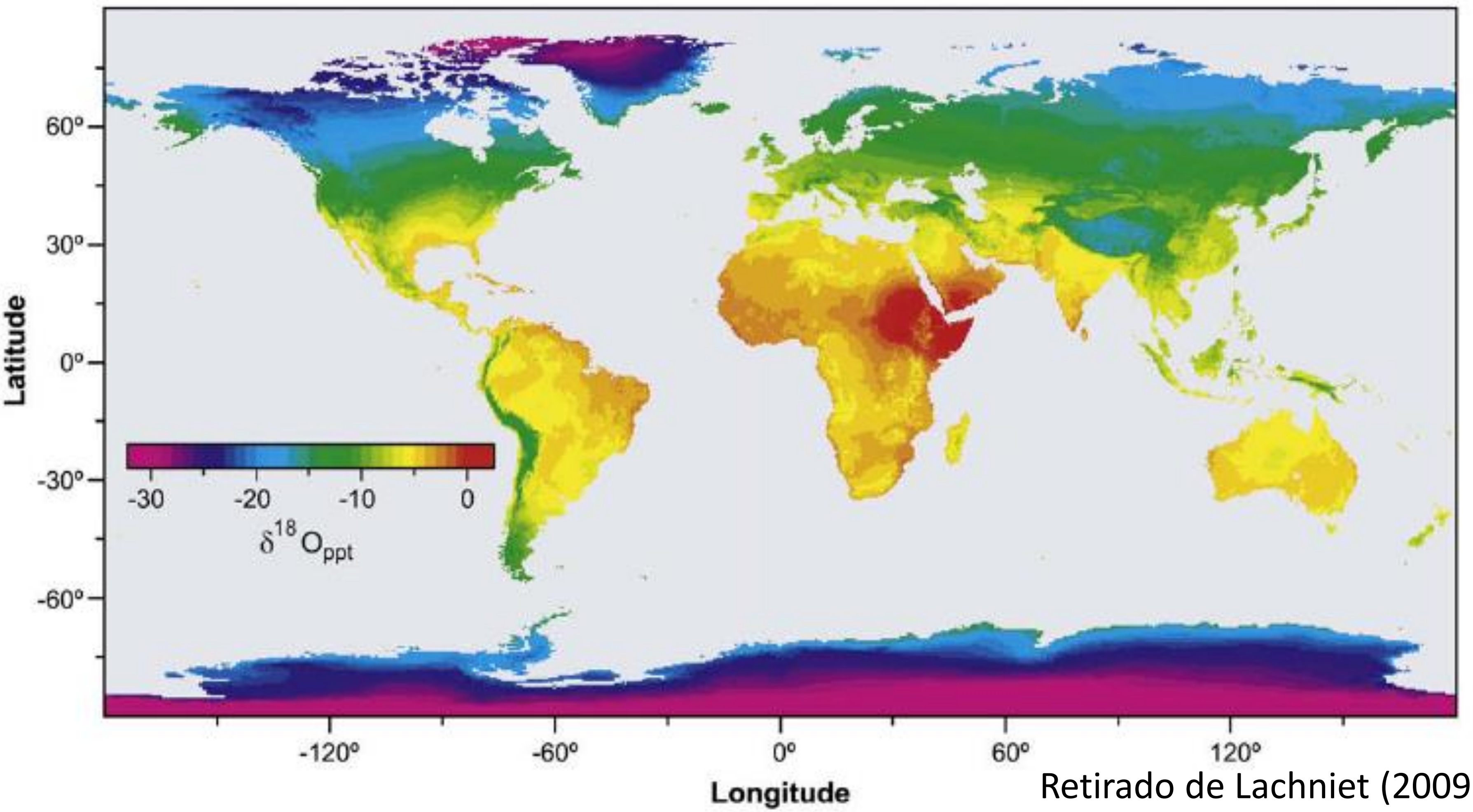


- **Efecto temperatura**
- **Efecto altitud**
- **Efecto continentalidad**
- **Efecto volumen de Lluva**
- **Efecto área fuente de lluvia**

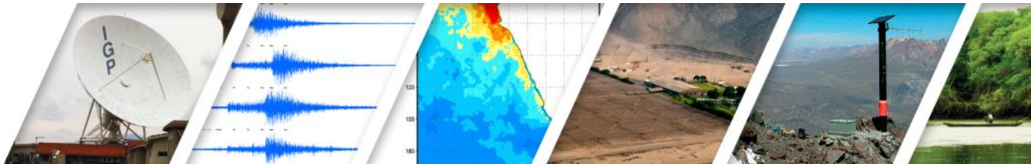
Sudamerica: la señal isotopica del agua de lluvia esta influenciada por efectos del nivel de conveccion de la nube a traves de su paso por el continente.

El proceso de remoción contínua de isótopos pesados es conocido como destilacion Rayleigh

Los valores mas negativos en las zonas de altas altitudes e altas latitudes asociado al contínuo empobrecimento de las masas de aire debido a destilación Rayleigh associada a caida de temperatura.

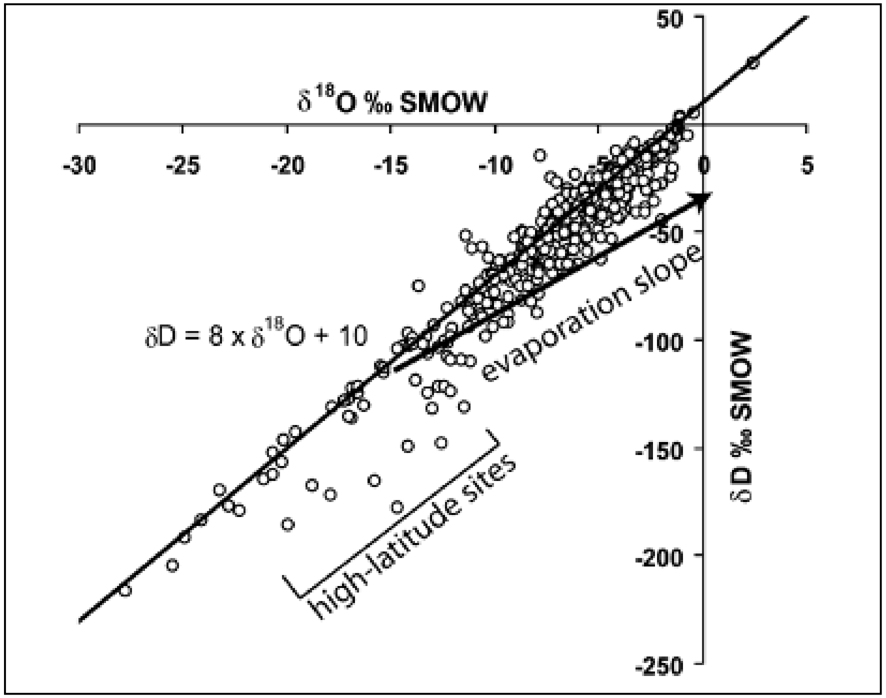

60°
30°
0°
-30°
-60°
Latitude
-120°
-60°
0°
60°
120°
Longitude
-30
-20
-10
0
$\delta^{18}O_{ppt}$

Retirado de Lachniet (2009).



H_2O

Desde que la separación de los isótopos tanto en el H como el O ocurren en el mismo proceso sus proporciones en relación a 8 .



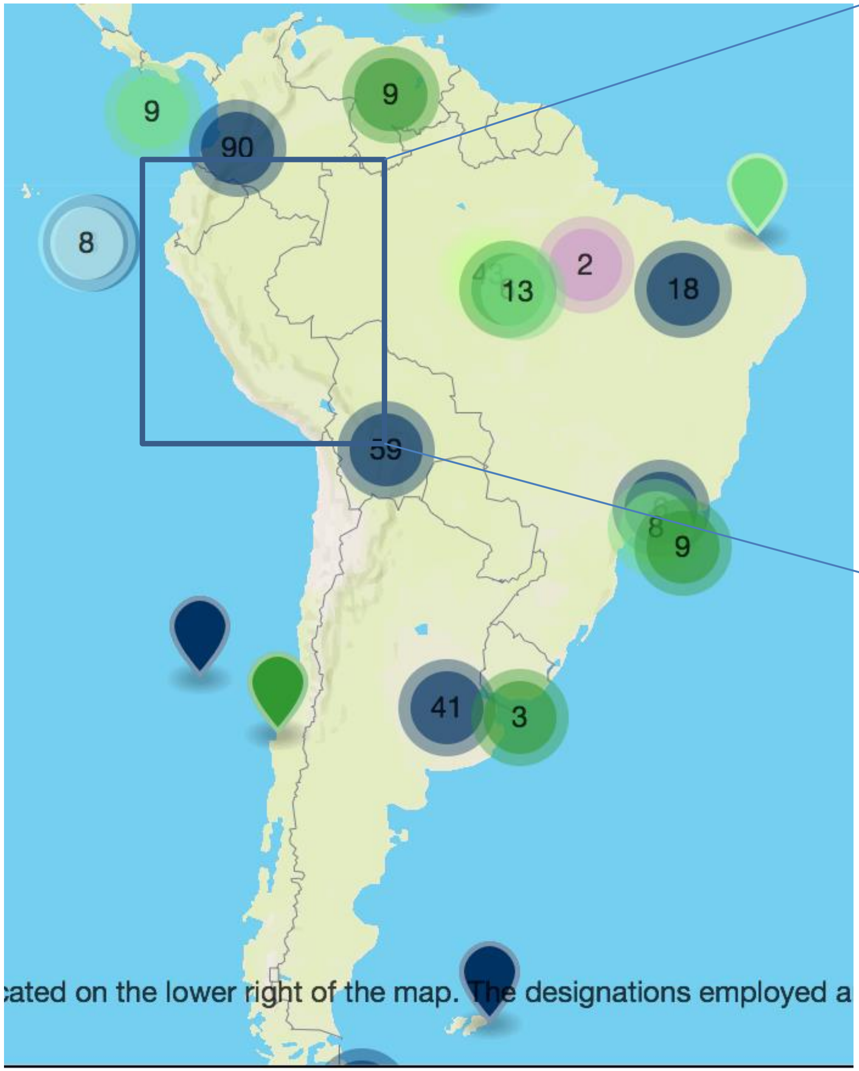
Procesos en Equilibrio Isotópico

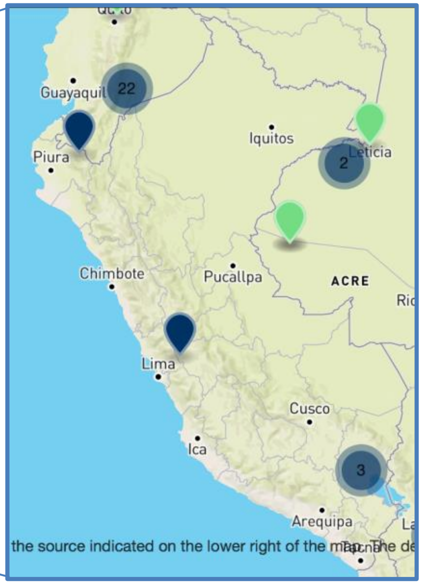
Procesos en fraccionamiento cinético.

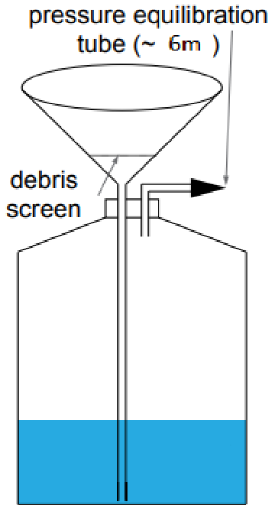
Es posible verificar la recarga de acuíferos subterráneos por infiltración lateral a partir de ríos o de lagos, o por infiltración vertical de aguas estancadas, pues la composición isotópica de estas aguas difiere frecuentemente de la de las precipitaciones locales.

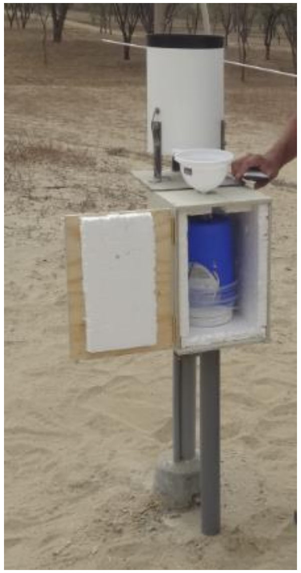
Determinación del área de recarga en función de la altura o de la distancia al mar.

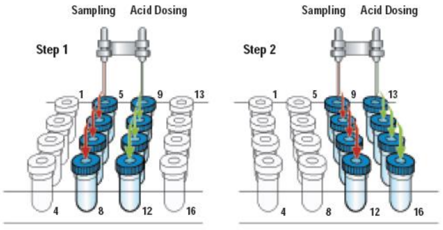
Datos de GNIP /GNIR: Global Network for Isotopes in Precipitation and Rivers.

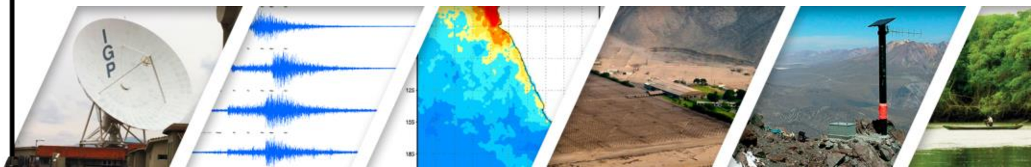



9
9
90
8
2
13
18
59
8
9
41
3
Guayaquil
22
Piura
Iquitos
2
Leticia
Chimbote
Pucallpa
ACRE
Lima
Cusco
Ica
3
Arequipa
the source indicated on the lower right of the map. The de
ated on the lower right of the map. The designations employed a

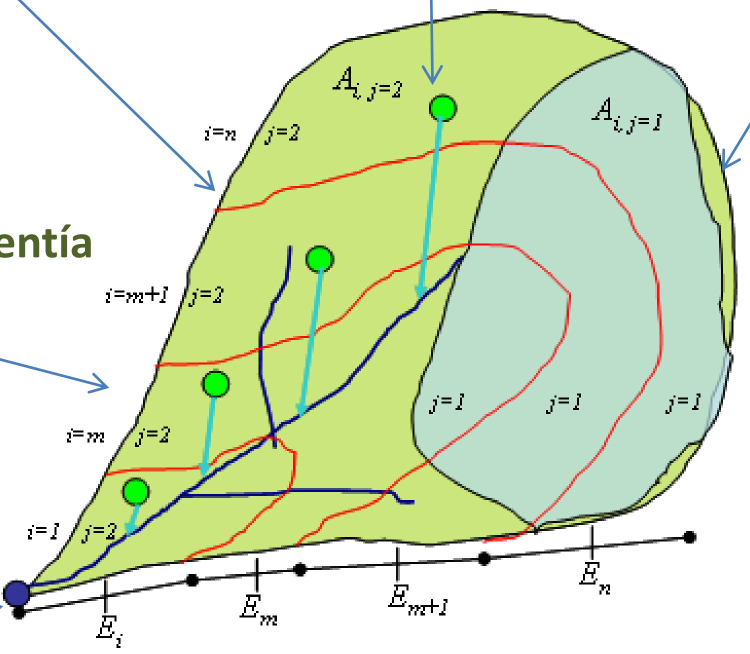

pressure equilibration tube (~ 6m)
debris screen




Sampling
Acid Dosing
Step 1
Sampling
Acid Dosing
Step 2



Aplicación para cuencas
(Balance de masa, aportes de las fuentes)


$A_{i,j=2}$
$A_{i,j=1}$
i=n
j=2
i=m+1
j=2
i=m
j=2
i=1
j=2
j=1
j=1
j=1
E_i
E_m
E_{m+1}
E_n

Subwatershed
Glacier
Elevation Band Delimiter
Streamflow Measurement or Management Point

Agua de lluvia
δ^{18}Opp

Agua subterranea
δ^{18}Os

Agua del Glaciar
δ^{18}Og

Agua de Escorrentía
δ^{18}Oef

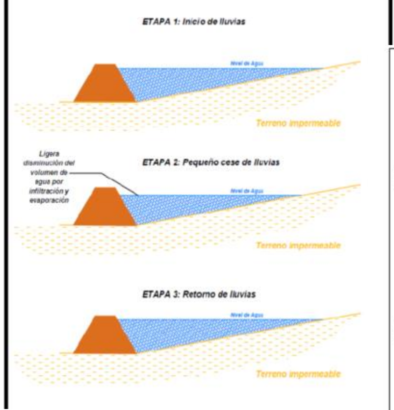
Agua de Escorrentía
δ^{18}Oef

$$\delta^{18}Oef = F1\,(\delta^{18}Oef) + F2\,(\delta^{18}Os) + F3\,(\delta^{18}Opp) + F4\,(\delta^{18}Og)$$

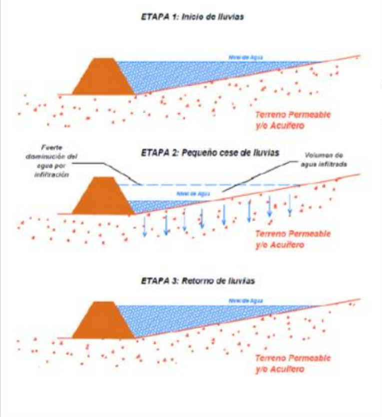
F1, F2,F3 y F4 son factores de ponderación de los aportes medidos en la cuenca.

Cosecha de aguas

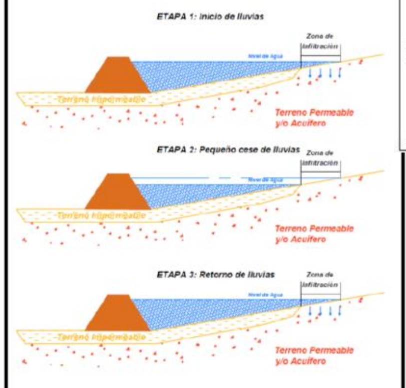
QOCHA DE COSECHA

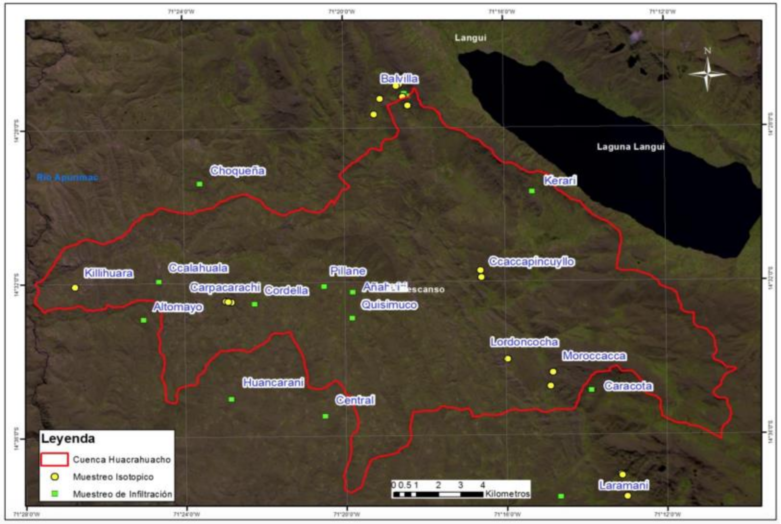

ETAPA 1: Inicio de lluvias
Nivel de Agua
Terreno impermeable
Ligera disminución del volumen de agua por infiltración y evaporación
ETAPA 2: Pequeño cese de lluvias
Nivel de Agua
Terreno impermeable
ETAPA 3: Retorno de lluvias
Nivel de Agua
Terreno impermeable

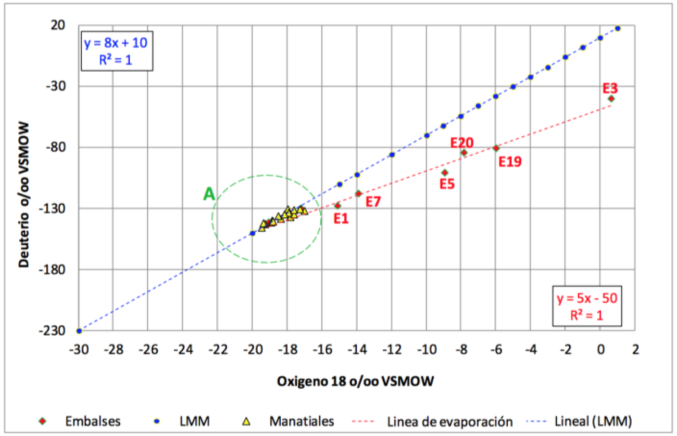
QOCHA DE SIEMBRA

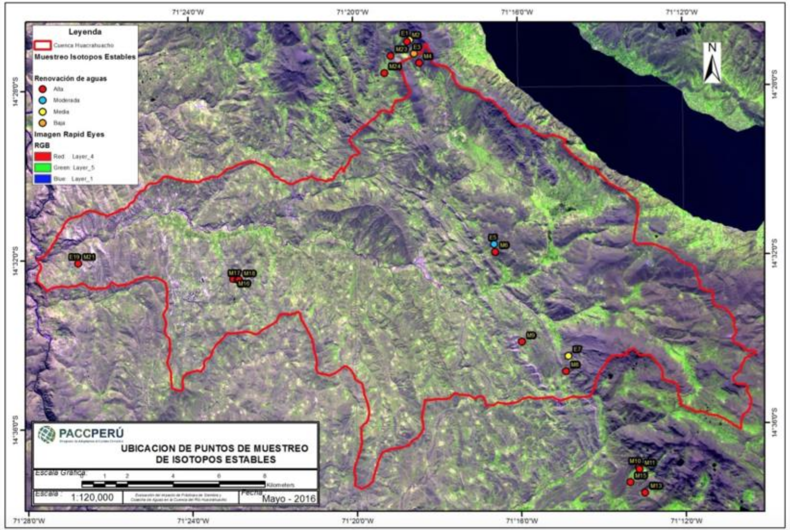

ETAPA 1: Inicio de lluvias
Nivel de Agua
Terreno Permeable y/o Acuífero
Fuerte disminución del agua por infiltración
ETAPA 2: Pequeño cese de lluvias
Volumen de agua infiltrada
Nivel de Agua
Terreno Permeable y/o Acuífero
ETAPA 3: Retorno de lluvias
Nivel de Agua
Terreno Permeable y/o Acuífero

QOCHA MIXTA


ETAPA 1: Inicio de lluvias
Zona de infiltración
Nivel de Agua
Terreno Impermeable
Terreno Permeable y/o Acuífero
ETAPA 2: Pequeño cese de lluvias
Zona de infiltración
Nivel de Agua
Terreno Impermeable
Terreno Permeable y/o Acuífero
ETAPA 3: Retorno de lluvias
Zona de infiltración
Nivel de Agua
Terreno Impermeable
Terreno Permeable y/o Acuífero

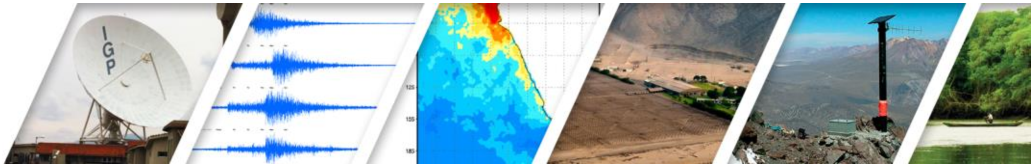

Langui
Laguna Langui
Baivilla
Río Apurimac
Choqueña
Kerari
Killihuara
Ccalahuala
Carpacarachi
Cordella
Pillane
Añahui Descanso
Quisimuco
Altomayo
Ccaccapincuyllo
Lordoncocha
Moroccacca
Caracota
Huancarani
Central
Laramani
N
Leyenda
Cuenca Huacrahuacho
Muestreo Isotopico
Muestreo de Infiltración
0 0.5 1 2 3 4 Kilometros
71°28'0"W
71°24'0"W
71°20'0"W
71°16'0"W
71°12'0"W



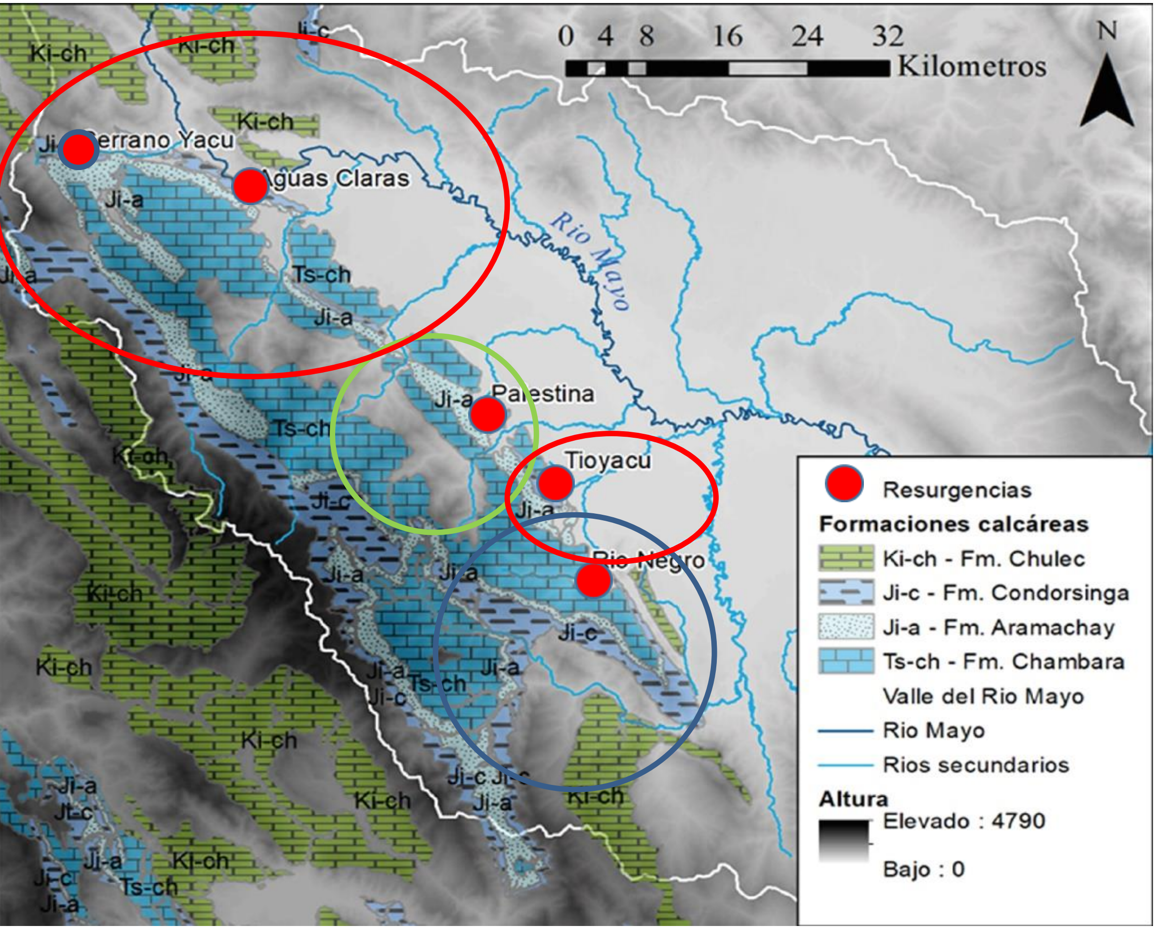

Leyenda
Cuenca Huacrahuacho
Muestreo Isotopos Estables
Renovación de aguas
Alta
Moderada
Media
Baja
Imagen Rapid Eyes
RGB
Red: Layer_4
Green: Layer_5
Blue: Layer_1
N
PACCPERÚ
UBICACION DE PUNTOS DE MUESTREO DE ISOTOPOS ESTABLES
Escala Grafica
Escala: 1:120,000
Mayo - 2016
71°28'0"W
71°24'0"W
71°20'0"W
71°16'0"W
71°12'0"W

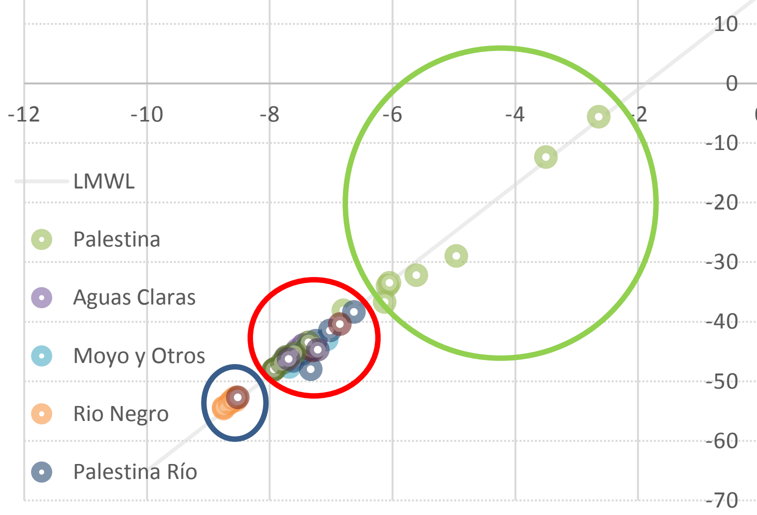
Nombre	Lugar de Muestreo	Sector	δ2H Valor (permil)	δ18O Valor (permil)	Fuente de Muestreo	Distancia a LMM	Renovación de Aguas
E3	Baivilla 3	Alto Baivilla (sect 3)	-41.06	0.64	Qocha	6.97	Bajo
E19	Killiwara	Quelloyocpampa	-81.63	-5.98	Qocha	5.43	Moderado
E5	Kaccapincuyo	Ccaccapincuyllo	-101.34	-8.91	Qocha	4.97	Moderado
E20	Killihuara	Carpacarachi	-85.24	-7.84	Qocha	4.03	Moderado
E1	Baivilla 4	Alto Baivilla (sect 4)	-128.54	-15.07	Qocha	2.23	Medio
E7	Pampacolla	Moroccaca	-118.8	-13.91	Qocha	2.17	Medio
M2	Baivilla 4	Alto Baivilla (sect 4)	-132.72	-17.01	Manantial	0.82	Alto
M6	Kaccapincuyo	Ccaccapincuyllo	-138.1	-17.79	Manantial	0.72	Alto
M13	Jatunpuquio	Jatunpuquio	-135.62	-17.61	Manantial	0.59	Alto
M18	Carparachi No.5	Carpacarachi	-131.37	-17.23	Manantial	0.44	Alto
E22	Embalse Baivilla abajo	Baivilla	-131.09	-17.2	Qocha	0.43	Alto
M9	Pampachulla	Londorcocha	-139.11	-18.35	Manantial	0.29	Alto
M14	Cuchuypuqio	Laramani	-131.67	-17.96	Manantial	0.25	Alto
M17	Carparachi No.3	Carpacarachi	-132.47	-17.58	Manantial	0.23	Alto
M15	Riachuelo	Laramani	-142.93	-19.33	Manantial	0.21	Alto
M11	Baivilla	Laramani	-142.55	-18.91	Manantial	0.16	Alto
M23	Quebrada Baivilla	Baivilla abajo	-141.73	-18.82	Manantial	0.15	Alto
M8	Quebrada Alencastre	Alencastre	-146.67	-19.46	Manantial	0.12	Alto
M16	Carparachi No.4	Carpacarachi	-134.19	-17.92	Manantial	0.10	Alto
M24	Riachuelo Baivilla abajo	Baivilla abajo	-137.25	-18.5	Manantial	0.09	Alto
M21	Killihuara	Killihuara	-135.75	-18.14	Manantial	0.08	Alto
M4	Quebrada Tarzan	Pichihua	-143.7	-19.24	Manantial	0.03	Alto
E12	Millpo	Laramani	-142.62	-19.07	Qocha	0.01	Alto
M10	Baivilla	Laramani	-140.87	-18.86	Manantial	0.00	Alto

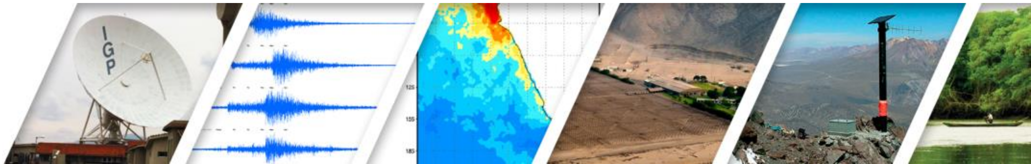
PACC, Cusco 2016

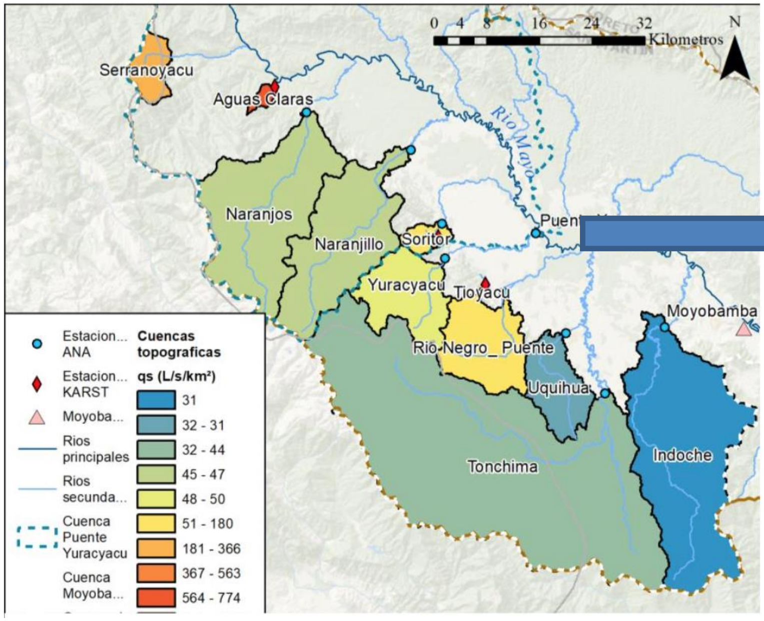


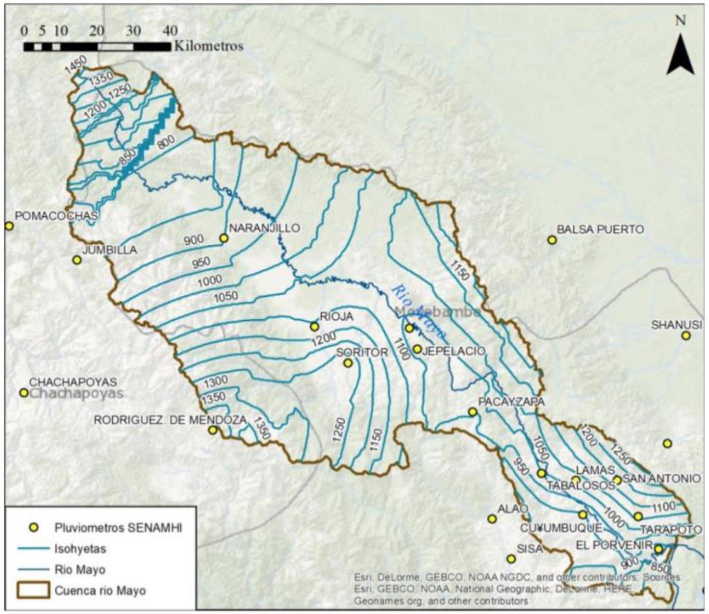
Andes del Perú = 90% de las formaciones kársticas de la cuenca Amazónica

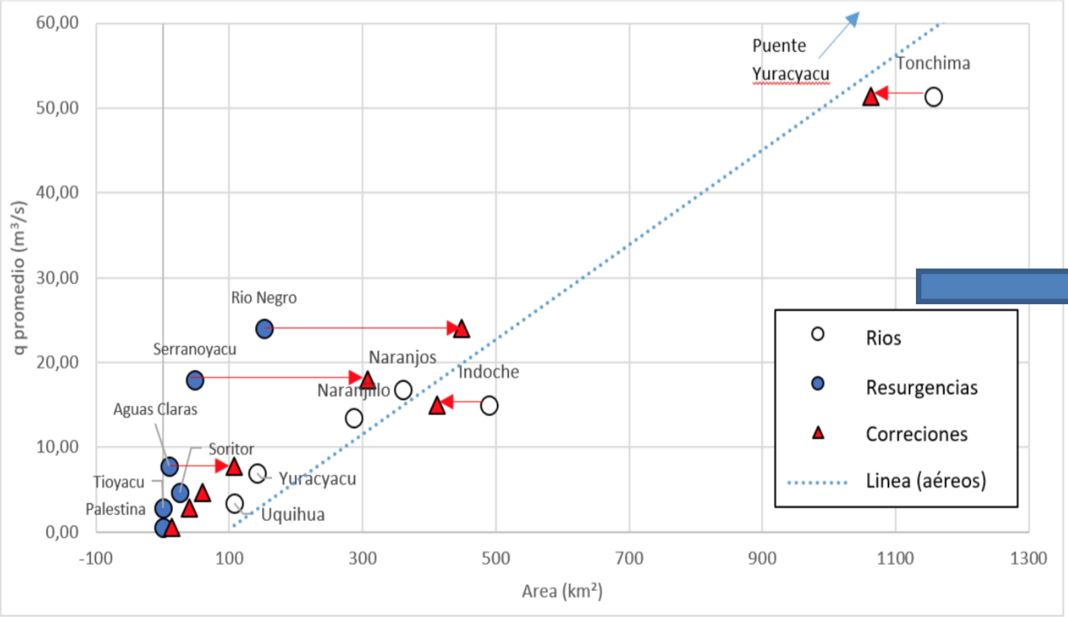

0 4 8 16 24 32
Kilometros
N
Serrano Yacu
Aguas Claras
Palestina
Tioyacu
Rio Negro
Rio Mayo
Ki-ch
Ji-c
Ji-a
Ts-ch
Resurgencias
Formaciones calcáreas
Ki-ch - Fm. Chulec
Ji-c - Fm. Condorsinga
Ji-a - Fm. Aramachay
Ts-ch - Fm. Chambara
Valle del Rio Mayo
Rio Mayo
Rios secundarios
Altura
Elevado : 4790
Bajo : 0

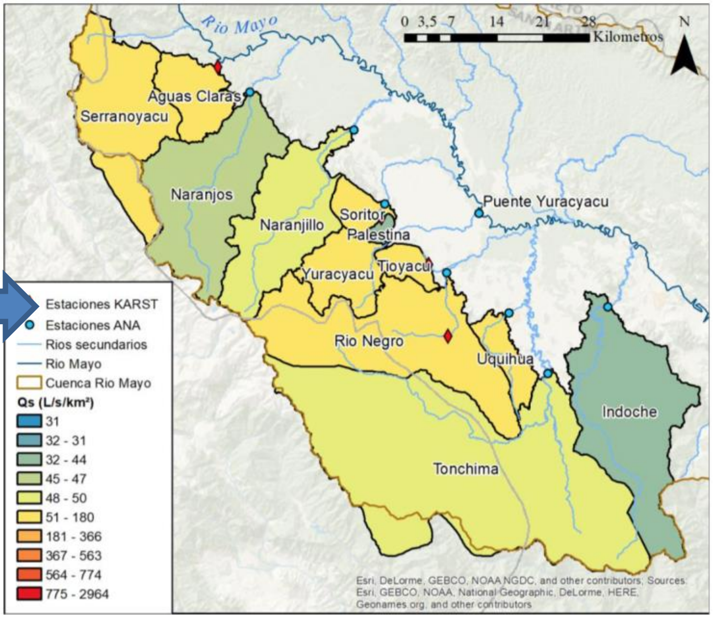





0 4 8 16 24 32 Kilometros
N
Serranoyacu
Aguas Claras
Rio Mayo
Naranjos
Naranjillo
Soritor
Puente
Yuracyacu
Tioyacu
Moyobamba
Rio Negro_ Puente
Uquihua
Tonchima
Indoche
Estacion... ANA
Estacion... KARST
Moyoba...
Rios principales
Rios secunda...
Cuenca Puente Yuracyacu
Cuenca Moyoba...
Cuencas topograficas
qs (L/s/km²)
31
32 - 31
32 - 44
45 - 47
48 - 50
51 - 180
181 - 366
367 - 563
564 - 774

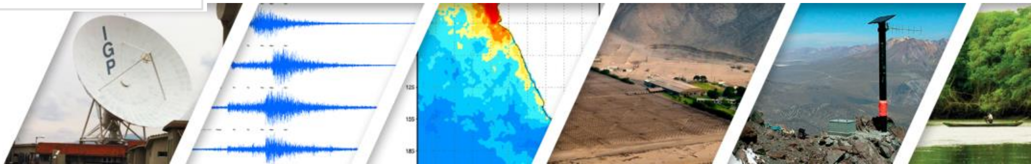

0 5 10 20 30 40 Kilometros
N
POMACOCHAS
JUMBILLA
NARANJILLO
BALSA PUERTO
RIOJA
Moyobamba
SORITOR
JEPELACIO
SHANUSI
CHACHAPOYAS
Chachapoyas
RODRIGUEZ DE MENDOZA
PACAYZAPA
LAMAS
TABALOSOS
SAN ANTONIO
ALAO
CUÑUMBUQUE
TARAPOTO
SISA
EL PORVENIR
Rio Mayo
1450
1350
1250
1200
850
800
900
950
1000
1050
1100
1150
1200
1300
1350
1250
1150
1050
950
1000
1100
900
850
Pluviometros SENAMHI
Isohyetas
Rio Mayo
Cuenca rio Mayo
Esri, DeLorme, GEBCO, NOAA NGDC, and other contributors; Sources: Esri, GEBCO, NOAA, National Geographic, DeLorme, HERE, Geonames.org, and other contributors




Rio Mayo
0 3,5 7 14 21 28 Kilometros
N
Aguas Claras
Serranoyacu
Naranjos
Naranjillo
Soritor
Palestina
Puente Yuracyacu
Yuracyacu
Tioyacu
Rio Negro
Uquihua
Indoche
Tonchima
Estaciones KARST
Estaciones ANA
Rios secundarios
Rio Mayo
Cuenca Rio Mayo
Qs (L/s/km²)
31
32 - 31
32 - 44
45 - 47
48 - 50
51 - 180
181 - 366
367 - 563
564 - 774
775 - 2964
Esri, DeLorme, GEBCO, NOAA NGDC, and other contributors; Sources: Esri, GEBCO, NOAA, National Geographic, DeLorme, HERE, Geonames.org, and other contributors

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

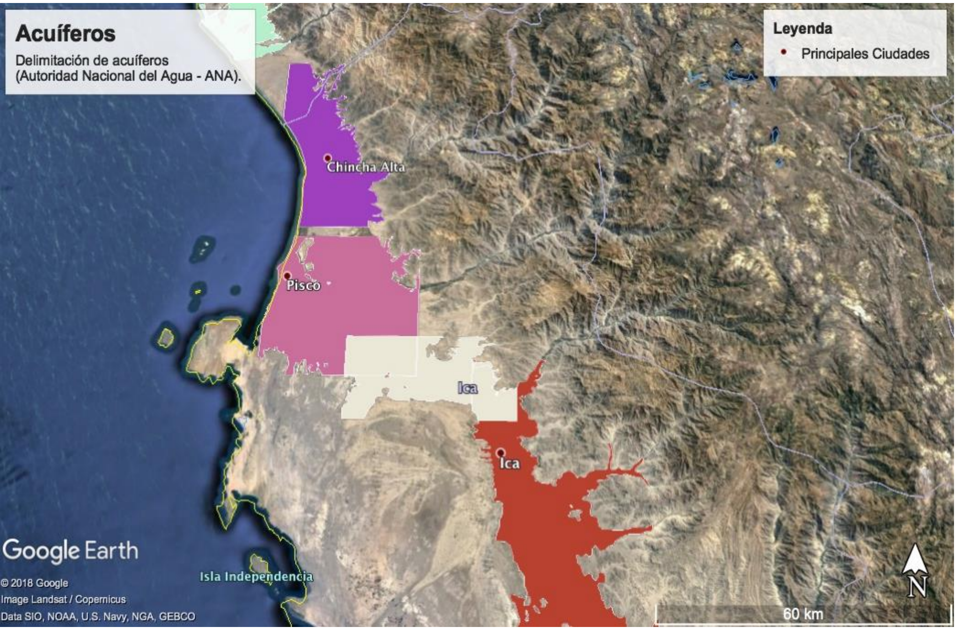
Grandjeune et al., SGP; 2018.

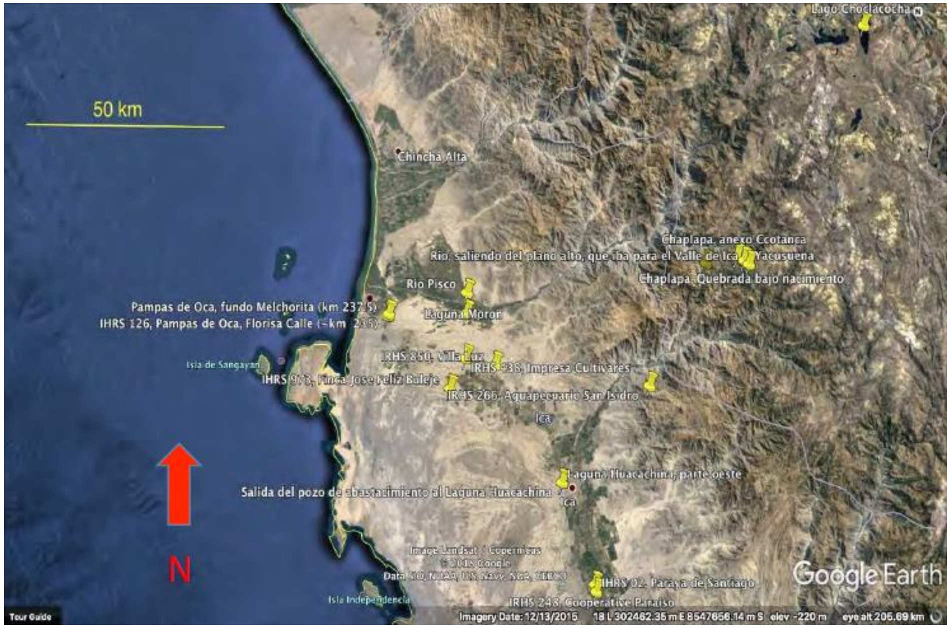


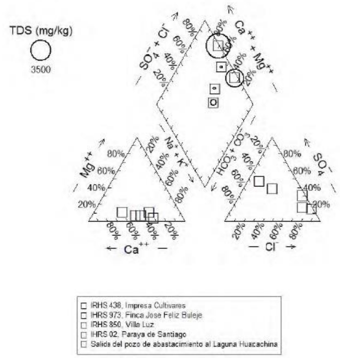
PERÚ Ministerio del Ambiente Instituto Geofísico del Perú - IGP
UNIVERSITY OF CALGARY
Instituto Científico del Agua
Water Science Institute
INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

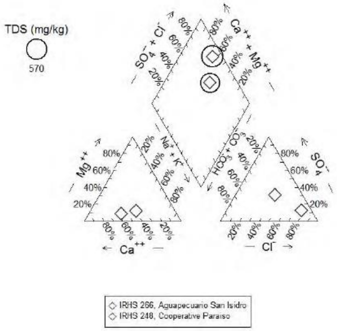
Hydrogeology and Groundwater Management in Ica Peru

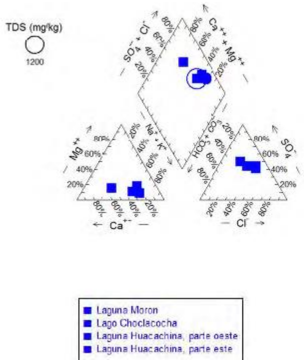
Preliminary results.....

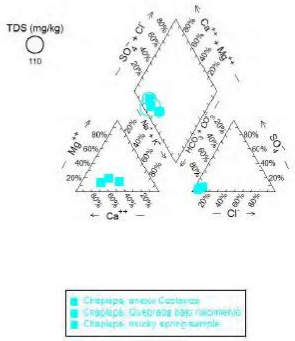

Acuíferos
Delimitación de acuíferos
(Autoridad Nacional del Agua - ANA).
Leyenda
• Principales Ciudades
Chincha Alta
Pisco
Ica
Ica
Isla Independencia
Google Earth
© 2018 Google
Image Landsat / Copernicus
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
60 km
N

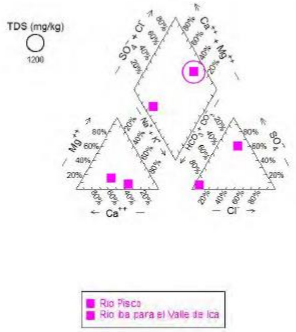

Lago Choclacocha
50 km
Chincha Alta
Chaplapa, anexo Ccotanca
Rio, saliendo del plano alto, que iba para el Valle de Ica
Yacusuena
Chaplapa, Quebrada bajo nacimiento
Rio Pisco
Pampas de Oca, fundo Melchorita (km 237.5)
IHRS 126, Pampas de Oca, Florisa Calle (~km 235)
Laguna Moror
Isla de Sangayan
IRHS 850, Villa Luz
IRHS 438, Impresa Cultivares
IHRS 973, Finca Jose Feliz Buleje
IRHS 266, Aguapecuario San Isidro
Ica
Laguna Huacachina, parte oeste
Salida del pozo de abastacimiento al Laguna Huacachina
Ica
N
Image Landsat / Copernicus
© 2018 Google
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
IHRS 02, Paraya de Santiago
Isla Independencia
IRHS 248, Cooperative Paraiso
Google Earth
Tour Guide
Imagery Date: 12/13/2015 18 L 302462.35 m E 8547656.14 m S elev -220 m eye alt 205.69 km



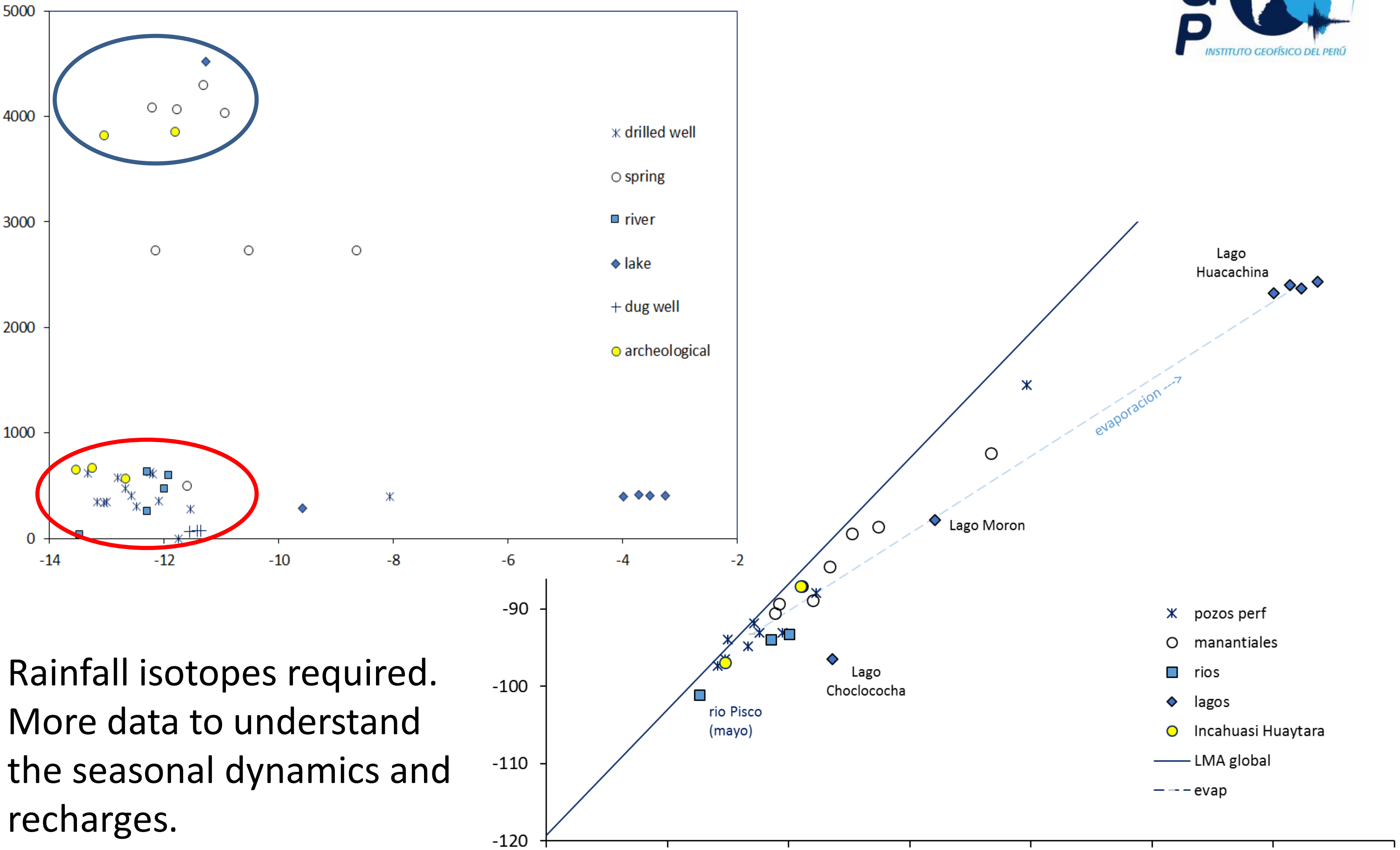




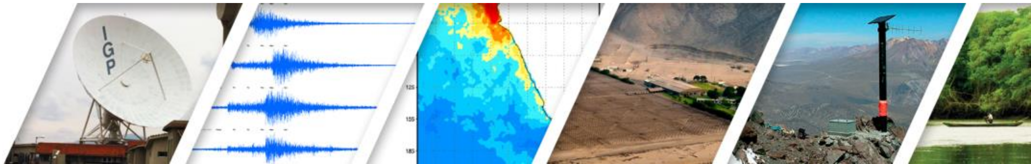




Preliminary results…..

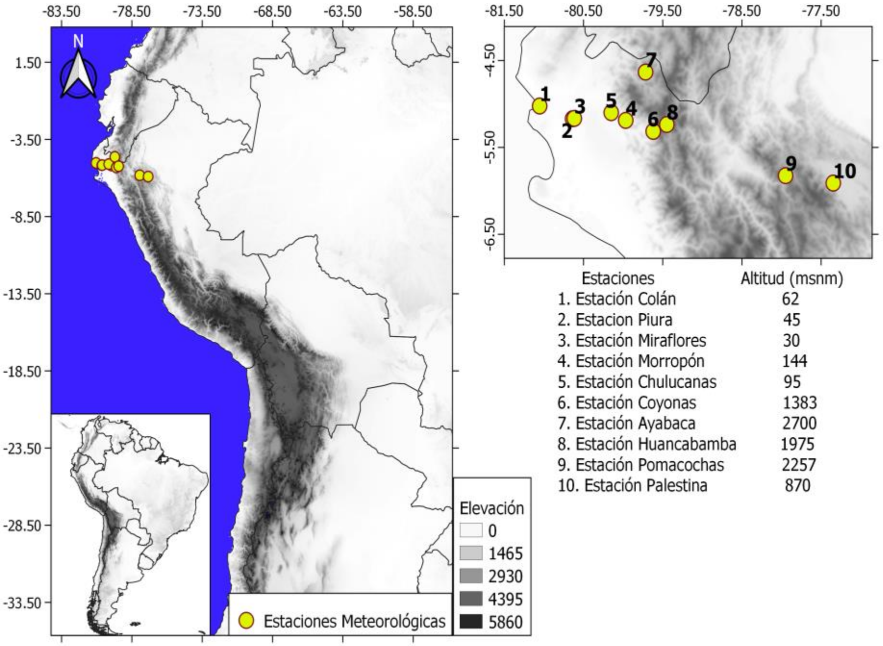


Rainfall isotopes required. More data to understand the seasonal dynamics and recharges.

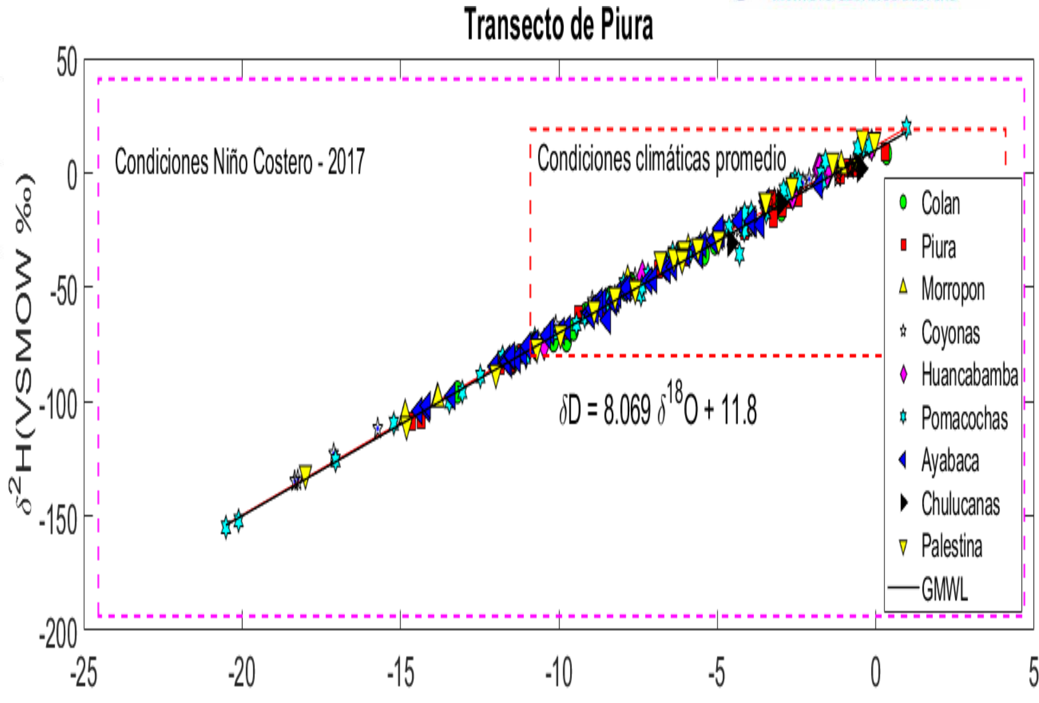


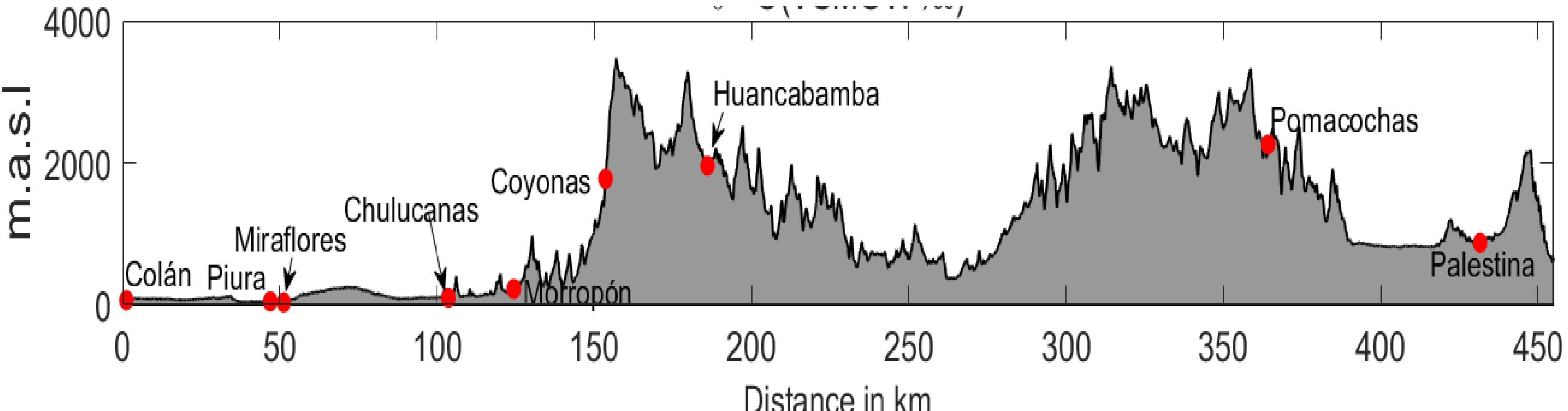
PERÚ Ministerio del Ambiente | Instituto Geofísico del Perú - IGP

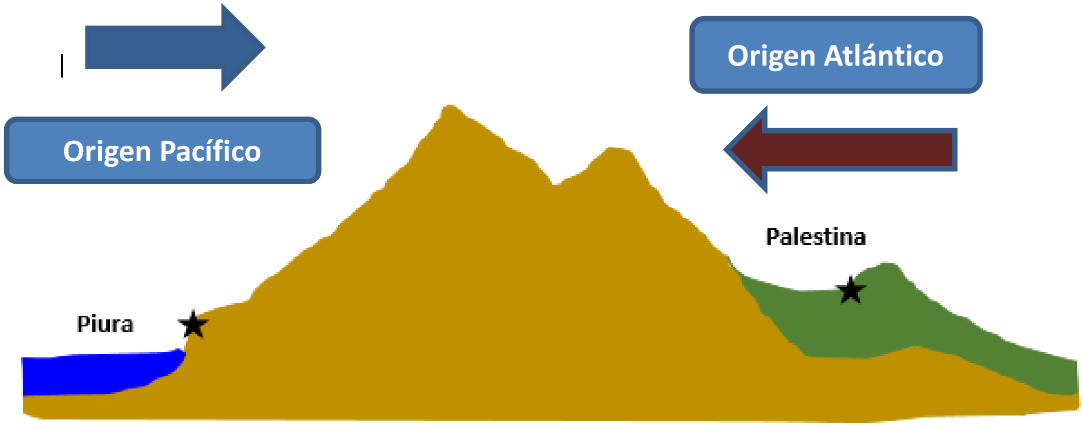
IGP INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ


-83.50
-78.50
-73.50
-68.50
-63.50
-58.50
1.50
-3.50
-8.50
-13.50
-18.50
-23.50
-28.50
-33.50
N
Estaciones Meteorológicas
Elevación
0
1465
2930
4395
5860
-81.50
-80.50
-79.50
-78.50
-77.50
-4.50
-5.50
-6.50
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

Estaciones	Altitud (msnm)
1. Estación Colán	62
2. Estacion Piura	45
3. Estación Miraflores	30
4. Estación Morropón	144
5. Estación Chulucanas	95
6. Estación Coyonas	1383
7. Estación Ayabaca	2700
8. Estación Huancabamba	1975
9. Estación Pomacochas	2257
10. Estación Palestina	870



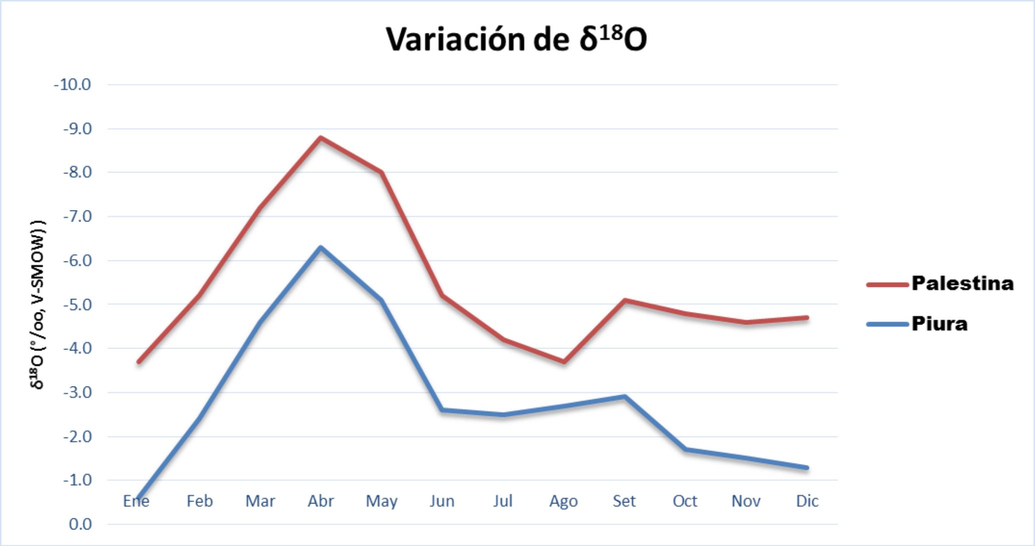




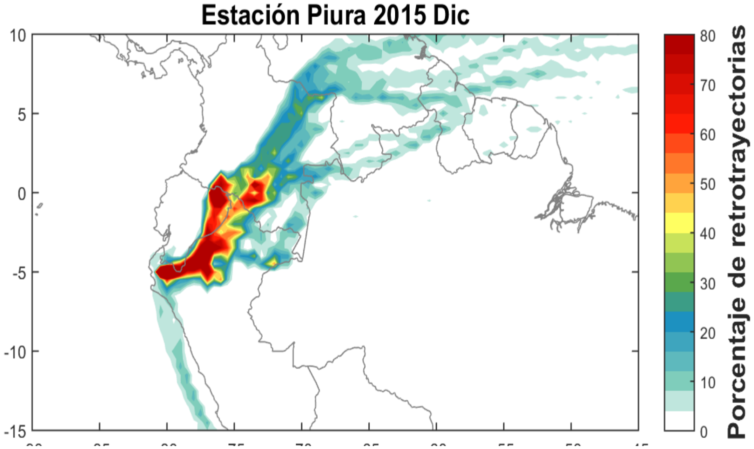
Origen Pacífico

Origen Atlántico

Piura
Palestina

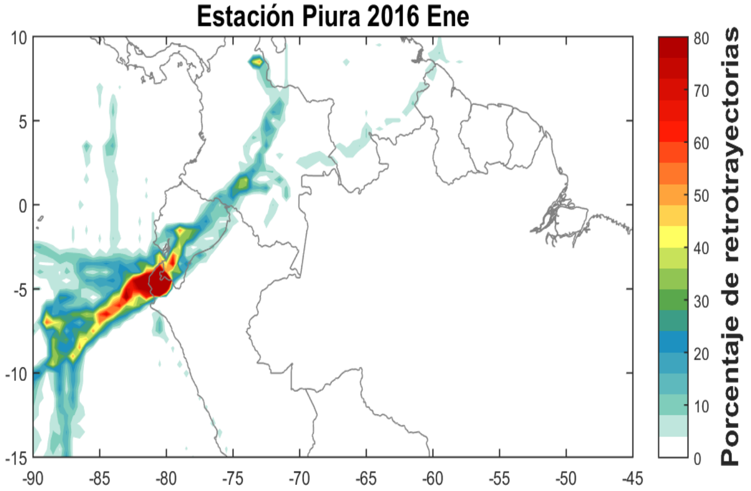


Variación de $\delta^{18}O$



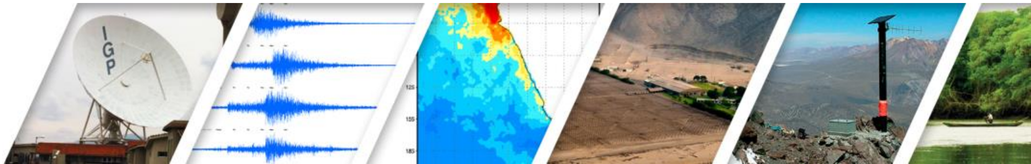
Estación Piura 2015 Dic

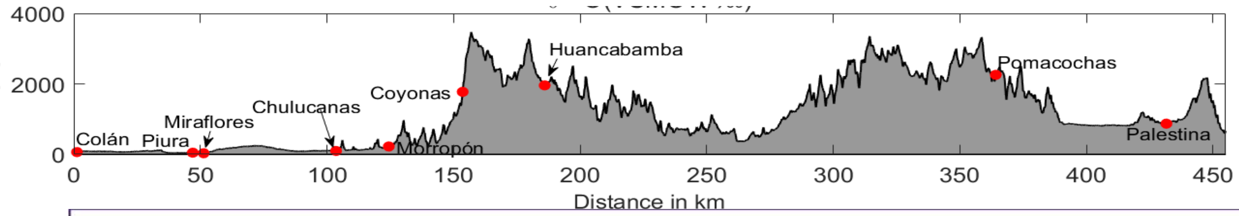
10
5
0
-5
-10
-15
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Porcentaje de retrotrayectorias



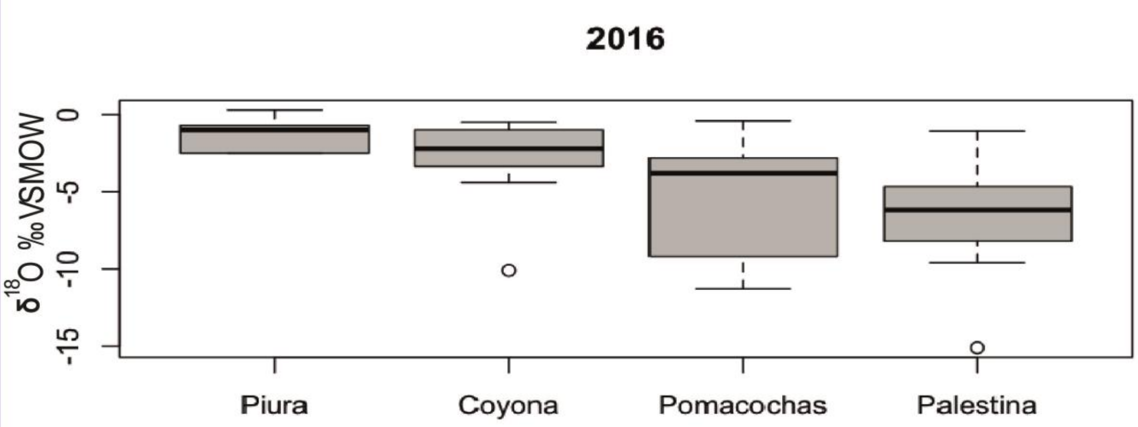
Estación Piura 2016 Ene

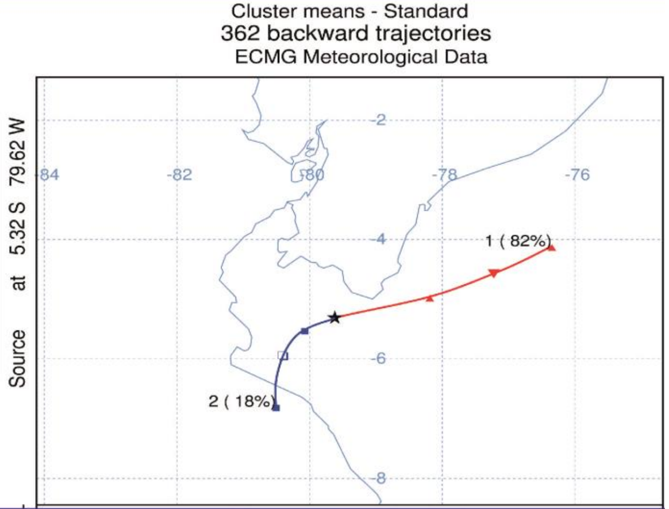
10
5
0
-5
-10
-15
-90
-85
-80
-75
-70
-65
-60
-55
-50
-45
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Porcentaje de retrotrayectorias

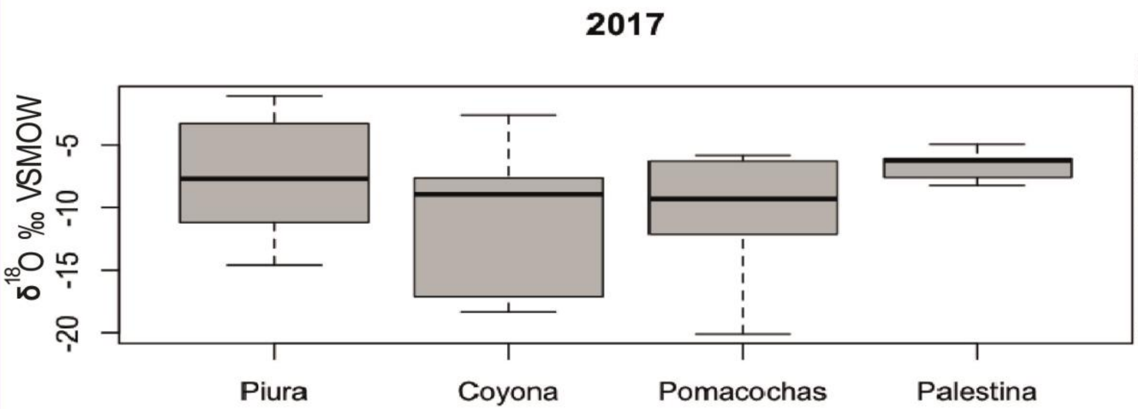


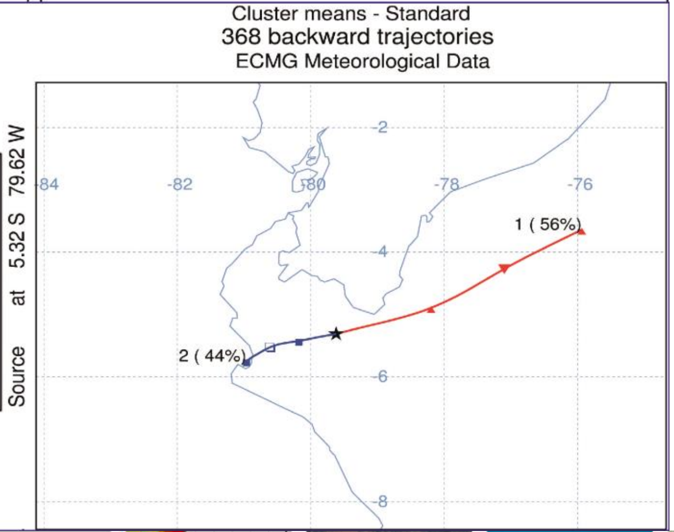


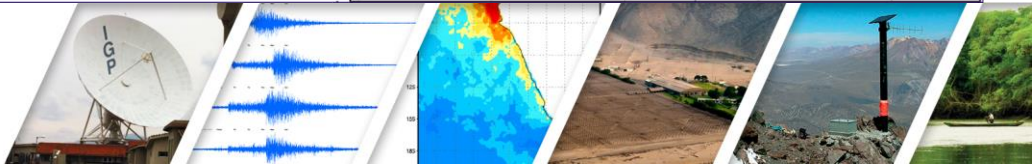
INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ



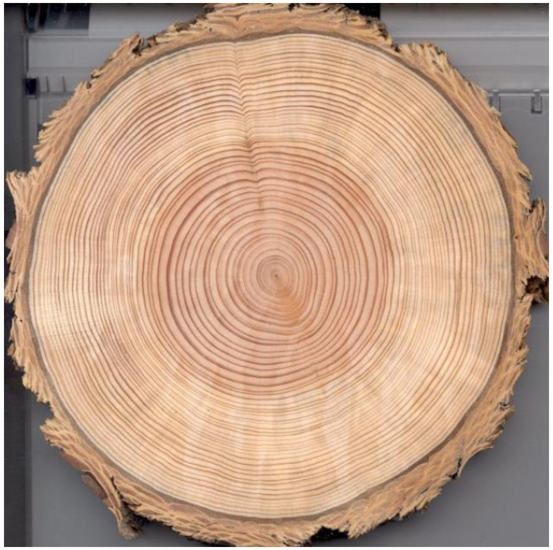

Cluster means - Standard
362 backward trajectories
ECMG Meteorological Data
Source at 5.32 S 79.62 W
-84
-82
-80
-78
-76
-2
-4
-6
-8
1 (82%)
2 (18%)

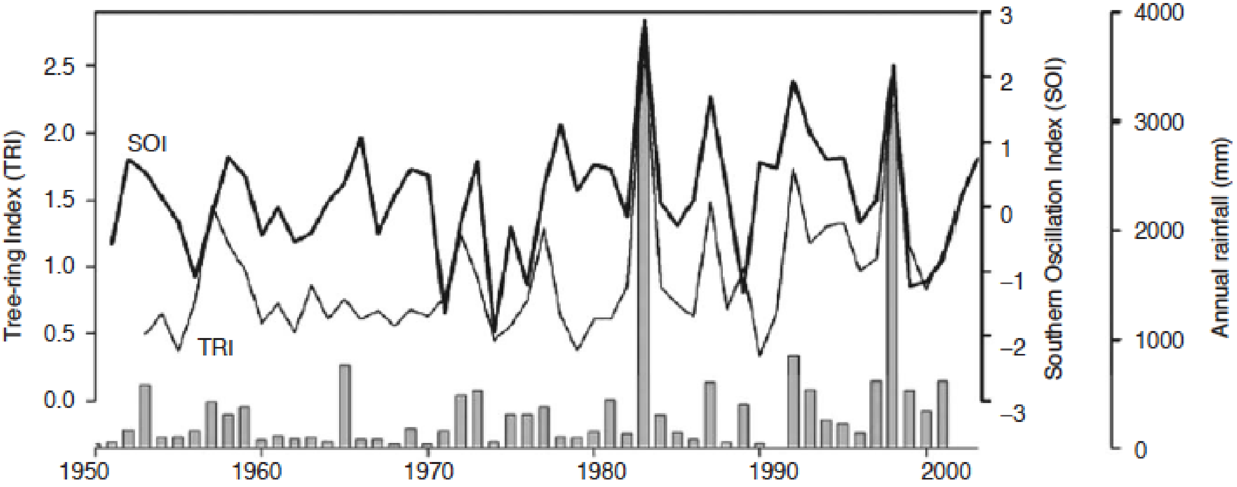



Cluster means - Standard
368 backward trajectories
ECMG Meteorological Data
Source at 5.32 S 79.62 W
-84
-82
-80
-78
-76
-2
-4
-6
-8
1 (56%)
2 (44%)



Aplicación para calibración de trazadores para estudios Paleoclimáticos





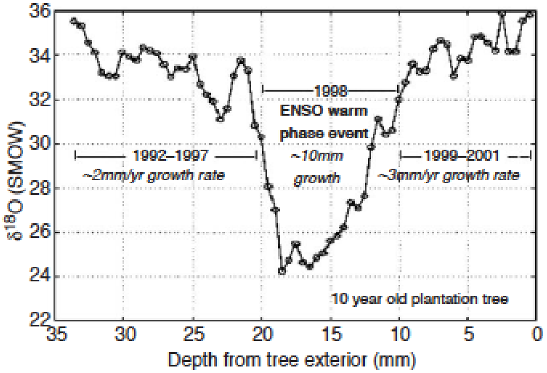
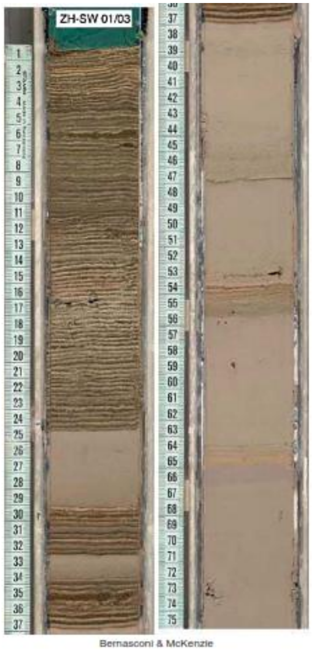


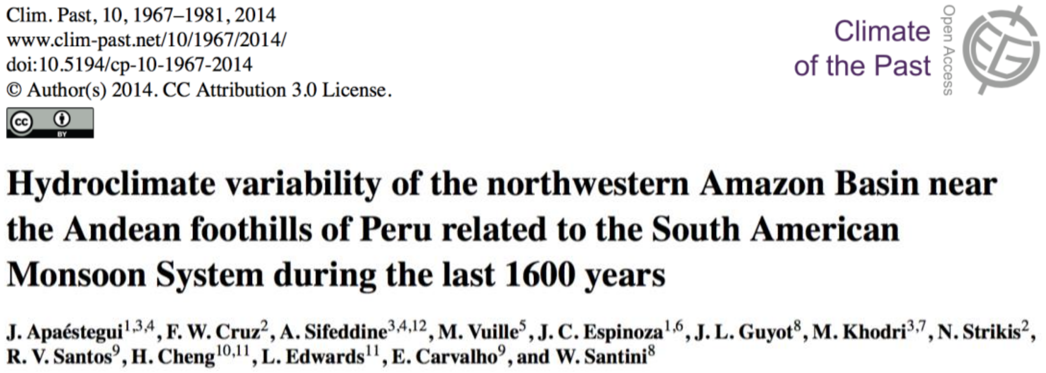
Fig. 6. Oxygen isotope ($\delta^{18}O$) analysis of a Prosopis sample from Piura carried out at Laboratory of Tree-ring Research (LTRR), University of Arizona, USA. It shows isotopic variation along a 35 mm long section from a 10-year old tree. There is a strong signal probably due to the ENSO event of 1997–98 (After Evans and Schrag, 2004).

Rodriguez et al., 2005



Bernasconi & McKenzie

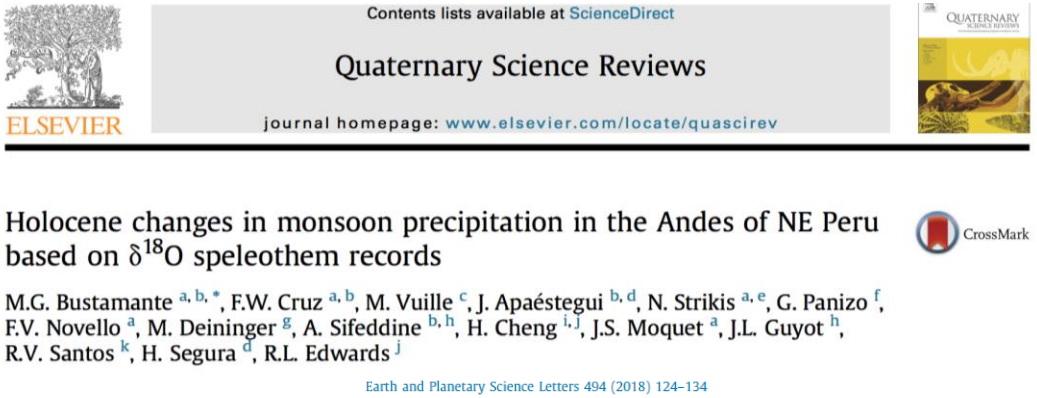
PERÚ Ministerio del Ambiente | Instituto Geofísico del Perú - IGP


Clim. Past, 10, 1967–1981, 2014
www.clim-past.net/10/1967/2014/
doi:10.5194/cp-10-1967-2014
© Author(s) 2014. CC Attribution 3.0 License.

Climate of the Past
Open Access

Hydroclimate variability of the northwestern Amazon Basin near the Andean foothills of Peru related to the South American Monsoon System during the last 1600 years

J. Apaéstegui[1,3,4], F. W. Cruz[2], A. Sifeddine[3,4,12], M. Vuille[5], J. C. Espinoza[1,6], J. L. Guyot[8], M. Khodri[3,7], N. Strikis[2], R. V. Santos[9], H. Cheng[10,11], L. Edwards[11], E. Carvalho[9], and W. Santini[8]


Contents lists available at ScienceDirect

Quaternary Science Reviews

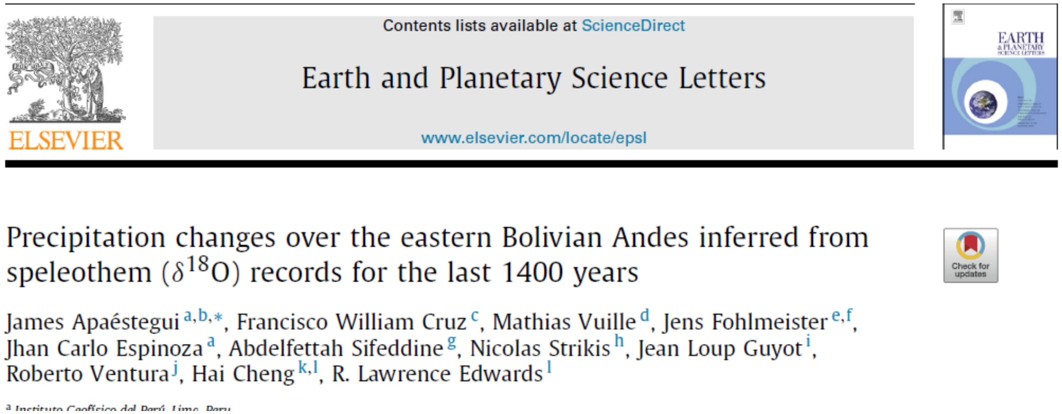
journal homepage: www.elsevier.com/locate/quascirev

ELSEVIER
QUATERNARY SCIENCE REVIEWS
CrossMark

Holocene changes in monsoon precipitation in the Andes of NE Peru based on $\delta^{18}O$ speleothem records

M.G. Bustamante [a, b, *], F.W. Cruz [a, b], M. Vuille [c], J. Apaéstegui [b, d], N. Strikis [a, e], G. Panizo [f], F.V. Novello [a], M. Deininger [g], A. Sifeddine [b, h], H. Cheng [i, j], J.S. Moquet [a], J.L. Guyot [h], R.V. Santos [k], H. Segura [d], R.L. Edwards [j]

Earth and Planetary Science Letters 494 (2018) 124–134


Contents lists available at ScienceDirect

Earth and Planetary Science Letters

www.elsevier.com/locate/epsl

ELSEVIER
EARTH & PLANETARY SCIENCE LETTERS
Check for updates

Precipitation changes over the eastern Bolivian Andes inferred from speleothem ($\delta^{18}O$) records for the last 1400 years

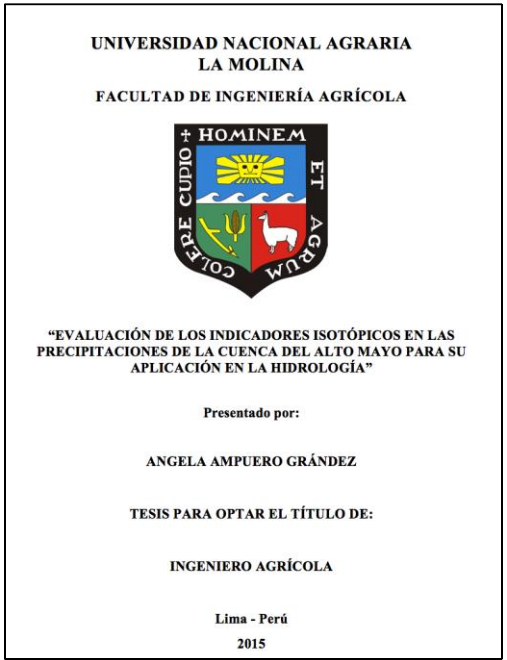
James Apaéstegui [a,b,*], Francisco William Cruz [c], Mathias Vuille [d], Jens Fohlmeister [e,f], Jhan Carlo Espinoza [a], Abdelfettah Sifeddine [g], Nicolas Strikis [h], Jean Loup Guyot [i], Roberto Ventura [j], Hai Cheng [k,l], R. Lawrence Edwards [l]

[a] Instituto Geofísico del Perú, Lima, Peru

Publicaciones que permiten la articulación de distintos grupos de investigación.

Perspectiva regional de los cambios climáticos en el pasado.

Formación continua
(Trabajos de tesis)


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

"EVALUACIÓN DE LOS INDICADORES ISOTÓPICOS EN LAS PRECIPITACIONES DE LA CUENCA DEL ALTO MAYO PARA SU APLICACIÓN EN LA HIDROLOGÍA"

Presentado por:

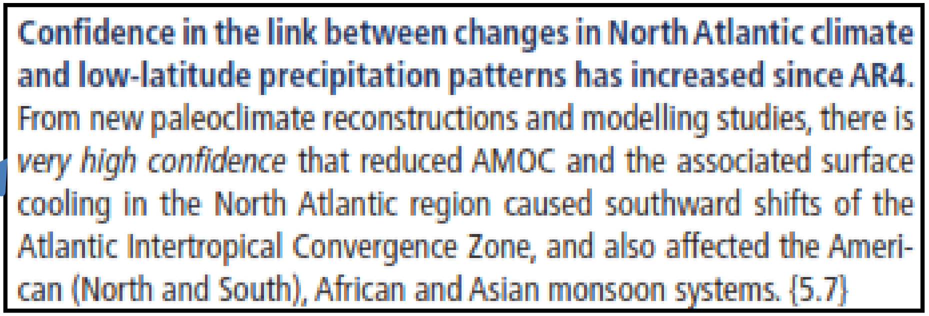
ANGELA AMPUERO GRÁNDEZ

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

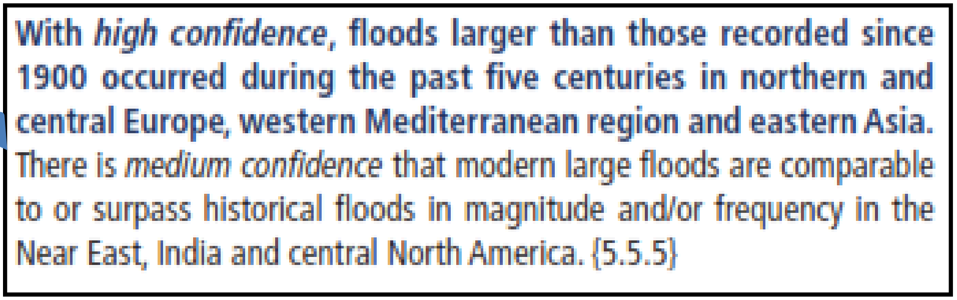
INGENIERO AGRÍCOLA

Lima - Perú
2015

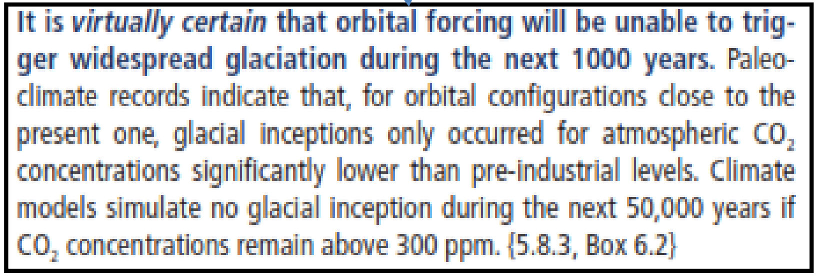
Algunas conclusiones del ultimo reporte del Panel Inter gubernamental para el Cambio Climático.



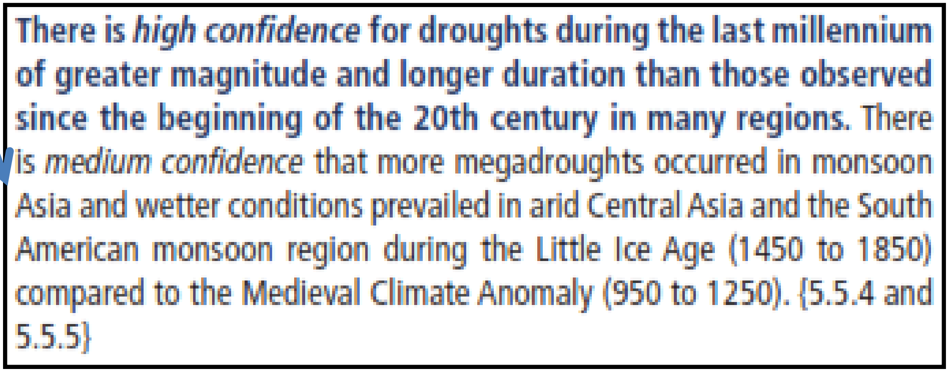
Confidence in the link between changes in North Atlantic climate and low-latitude precipitation patterns has increased since AR4. From new paleoclimate reconstructions and modelling studies, there is *very high confidence* that reduced AMOC and the associated surface cooling in the North Atlantic region caused southward shifts of the Atlantic Intertropical Convergence Zone, and also affected the American (North and South), African and Asian monsoon systems. {5.7}



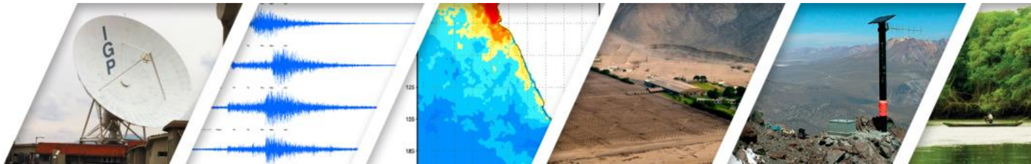
With *high confidence*, floods larger than those recorded since 1900 occurred during the past five centuries in northern and central Europe, western Mediterranean region and eastern Asia. There is *medium confidence* that modern large floods are comparable to or surpass historical floods in magnitude and/or frequency in the Near East, India and central North America. {5.5.5}



It is *virtually certain* that orbital forcing will be unable to trigger widespread glaciation during the next 1000 years. Paleoclimate records indicate that, for orbital configurations close to the present one, glacial inceptions only occurred for atmospheric CO_2 concentrations significantly lower than pre-industrial levels. Climate models simulate no glacial inception during the next 50,000 years if CO_2 concentrations remain above 300 ppm. {5.8.3, Box 6.2}



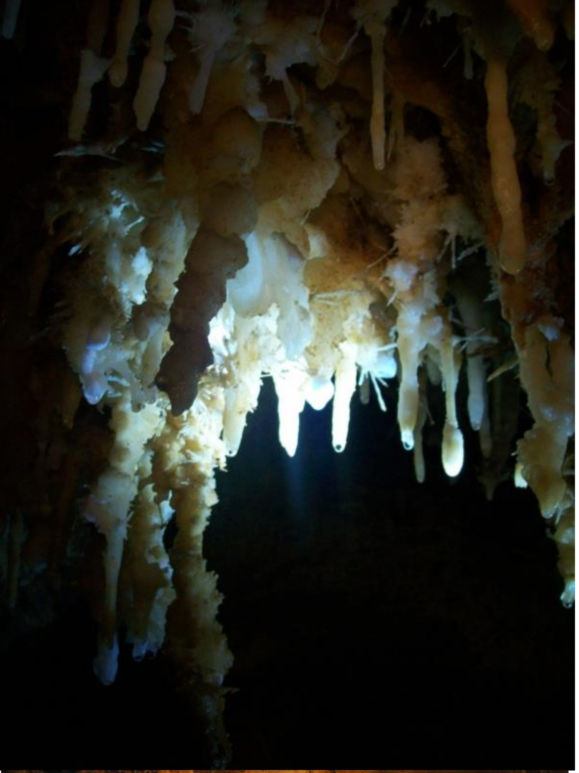
There is *high confidence* for droughts during the last millennium of greater magnitude and longer duration than those observed since the beginning of the 20th century in many regions. There is *medium confidence* that more megadroughts occurred in monsoon Asia and wetter conditions prevailed in arid Central Asia and the South American monsoon region during the Little Ice Age (1450 to 1850) compared to the Medieval Climate Anomaly (950 to 1250). {5.5.4 and 5.5.5}



- Los isotopos se consolidan con el tiempo como una poderosa herramienta para el estudio de sistemas hidro-climáticos tanto de escala local como regional y continental. Estas experiencias están brindando nuevos resultados y ayudando a conocer la dinámica de sistemas hidrológicos en el proceso del cambio climático tanto en escalas actuales como pasadas.

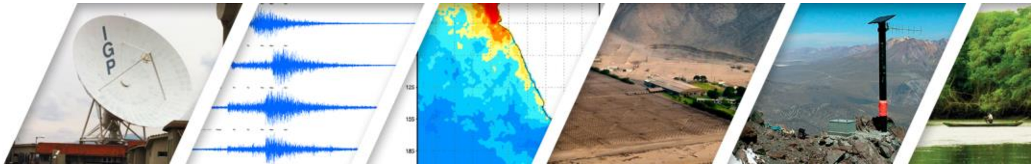
- Nuevas metodologías para estimaciones precisas de los aportes hídricos de las fuentes, podrán determinar el componente que ha sufrido mayor impacto. De esta manera se podrían plantear herramientas de gestión más eficientes en la conservación de los recursos.

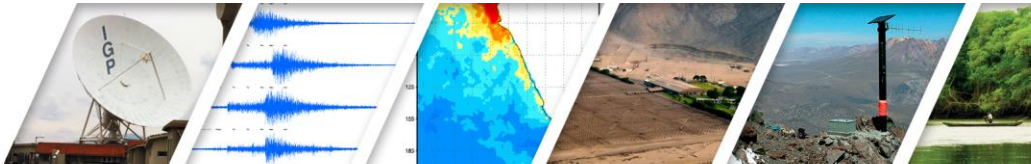
- Solo a través de una adecuada red de monitoreo tanto de variables físico como químicas del agua y los suelos en la cuenca, se podra contar con información que ayude correctamente en la toma de decisiones para el planeamiento del uso del recurso hídrico.

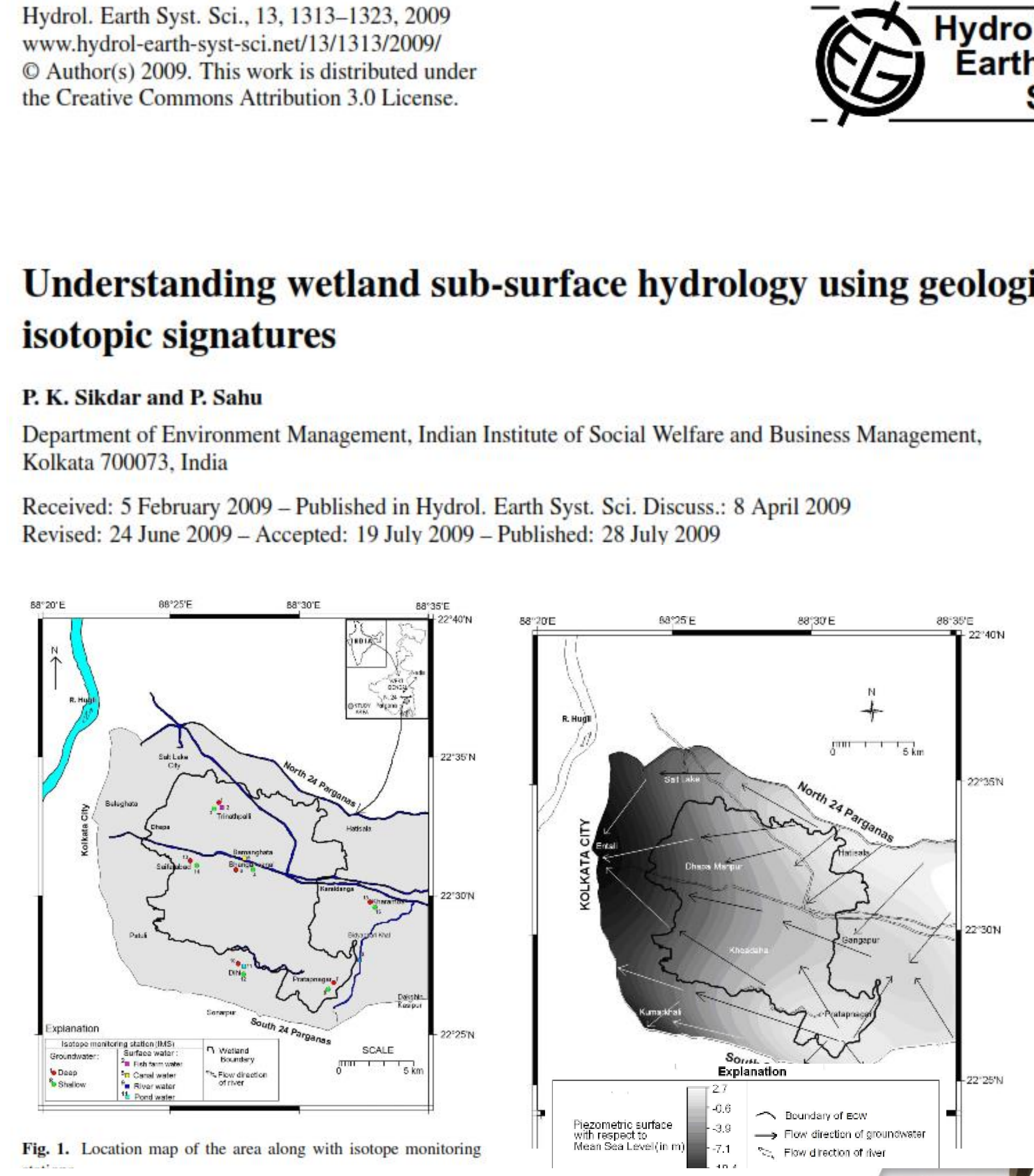


Gracias por su atención

japaestegui@igp.gob.pe




IGP



Hydrol. Earth Syst. Sci., 13, 1313–1323, 2009
www.hydrol-earth-syst-sci.net/13/1313/2009/
© Author(s) 2009. This work is distributed under
the Creative Commons Attribution 3.0 License.

Hydrology and
Earth System
Sciences

Understanding wetland sub-surface hydrology using geologic and isotopic signatures

P. K. Sikdar and P. Sahu

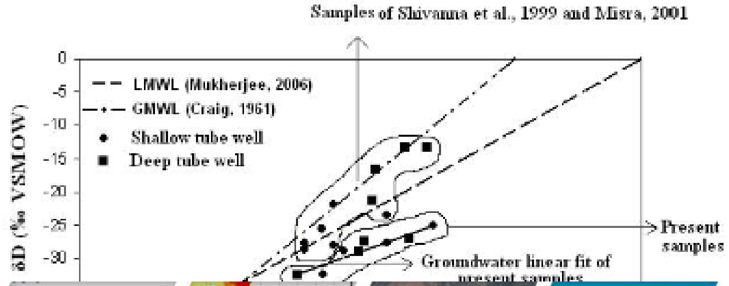
Department of Environment Management, Indian Institute of Social Welfare and Business Management,
Kolkata 700073, India

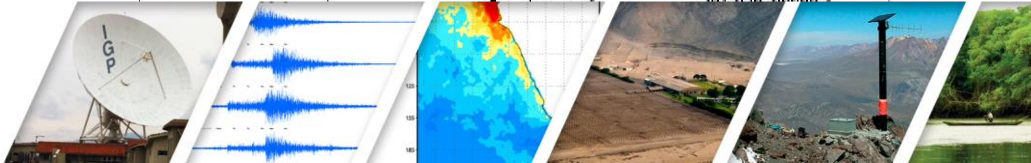
Received: 5 February 2009 – Published in Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.: 8 April 2009
Revised: 24 June 2009 – Accepted: 19 July 2009 – Published: 28 July 2009

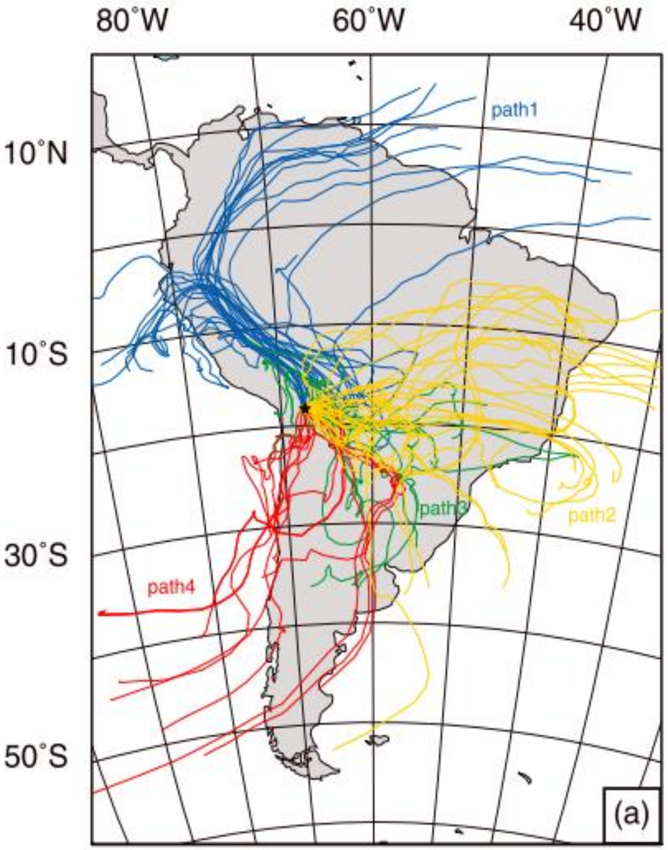
88°20'E
88°25'E
88°30'E
88°35'E
22°40'N
22°35'N
22°30'N
22°25'N
R. Hugli
Salt Lake City
Kolkata City
North 24 Parganas
South 24 Parganas
Explanation
SCALE
0
5 km
KOLKATA CITY
Piezometric surface with respect to Mean Sea Level (in m)
Boundary of ECW
Flow direction of groundwater
Flow direction of river

Fig. 1. Location map of the area along with isotope monitoring

En un sistema abierto, sea superficial o subterráneo, la mezcla de aguas de diversas edades predomina, y las concentraciones de tritio se interpretan en función del tiempo medio de permanencia en un modelo matemático, consistente en una celda de mezcla o en una serie de dichas celdas consideradas aceptables desde el punto de vista geo-hidrológico.



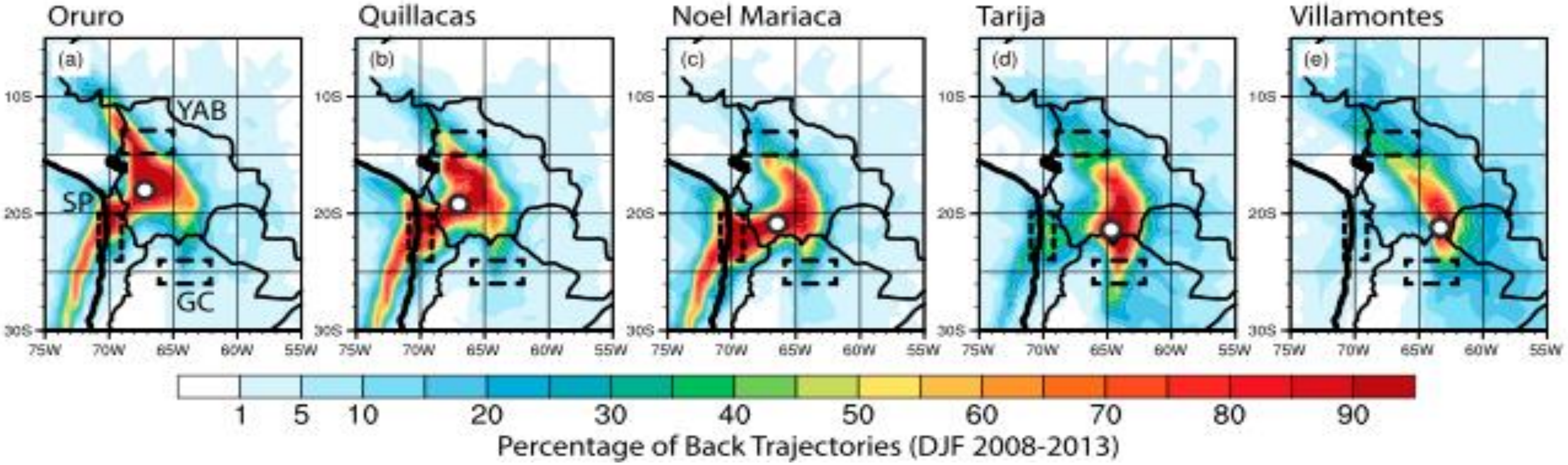



80°W
60°W
40°W
10°N
10°S
30°S
50°S
path1
path2
path3
path4
(a)

Aplicación de la señal isotópica como trazador de masas de aire.

Determinación del origen de las lluvias en el continente (Pacifico / Atlántio)

				Plateau Regions					
	~ 16° South			~ 18° South			~ 20° South		
	Abundance (%)	$\delta^{18}O$ (‰)	Prec (mm)	Abundance (%)	$\delta^{18}O$ (‰)	Prec (mm)	Abundance (%)	$\delta^{18}O$ (‰)	Prec (mm)
path 1	*29.56*	**−10.84**	**14.65**	*21.87*	**−15.1**	**8.8**	*15.44*	**−13.94**	**9.72**
path 2	17.90	−8.90	11.45	17.54	−10.38	8.58	17.72	−9.59	7.98
path 3	19.43	−8.77	10.03	19.70	−10.43	7.69	18.72	−9.95	9.05
path 4	*33.11*	**−6.85**	**5**	*40.89*	**−7.85**	**3.64**	*48.07*	**−7.72**	**4.71**


Oruro
Quillacas
Noel Mariaca
Tarija
Villamontes
(a)
(b)
(c)
(d)
(e)
YAB
SP
GC
10S
20S
30S
75W
70W
65W
60W
55W
1
5
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Percentage of Back Trajectories (DJF 2008-2013)

Los manantiales situados a altitud intermedia y elevada presentan una concentración relativamente alta del tritio y una amplia gama de composiciones isotópicas estables. La interpretación de esto es que el tiempo de tránsito del agua es corto y la mezcla escasa, lo que concuerda bien con la hidrogeología de la región. En cambio, en los grandes manantiales costeros la concentración del tritio es mucho menor, si bien la gama de composiciones isotópicas estables es similar. Esto indica que su origen es el mismo que el • de los manantiales situados a gran altura, pero que el tiempo de tránsito es algo más largo. En los manantiales y pozos pequeños próximos a la costa oriental de la isla la concentración del tritio es parecida pero, al mismo tiempo, el contenido en isótopos pesados es algo mayor. Esto parece deberse a que las tierras de la parte oriental de la isla son algo más bajas

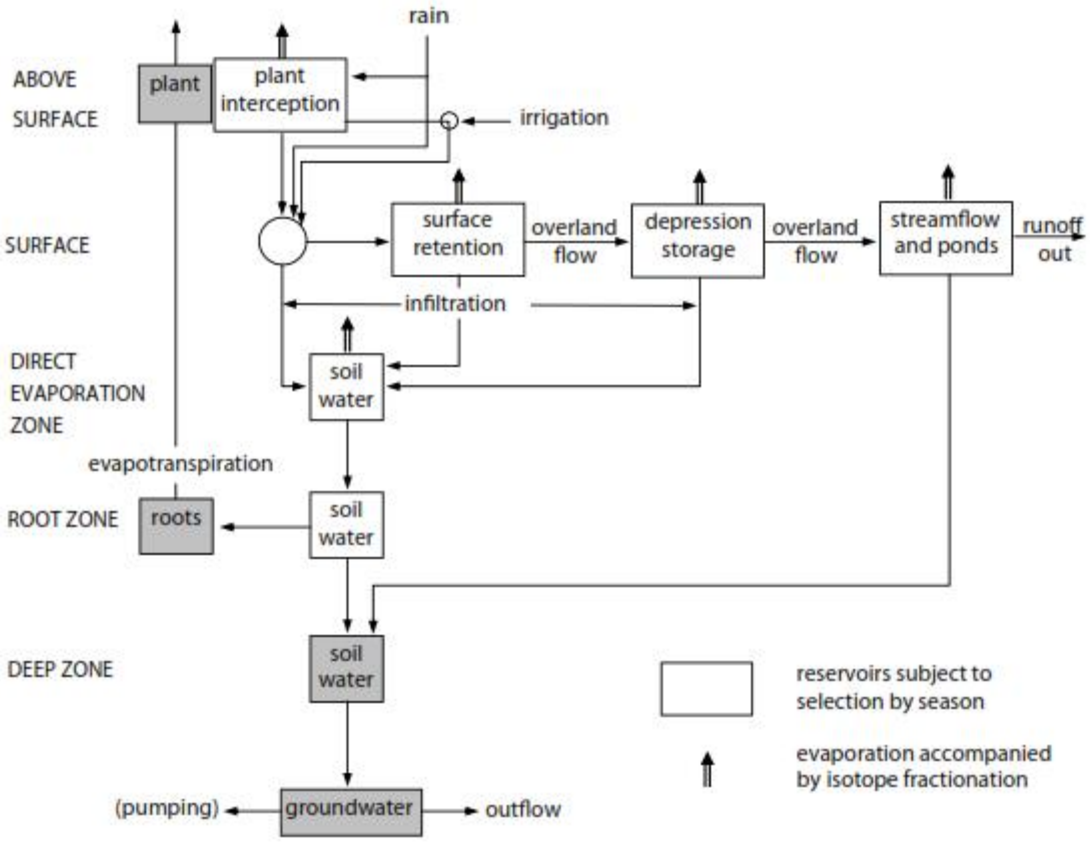
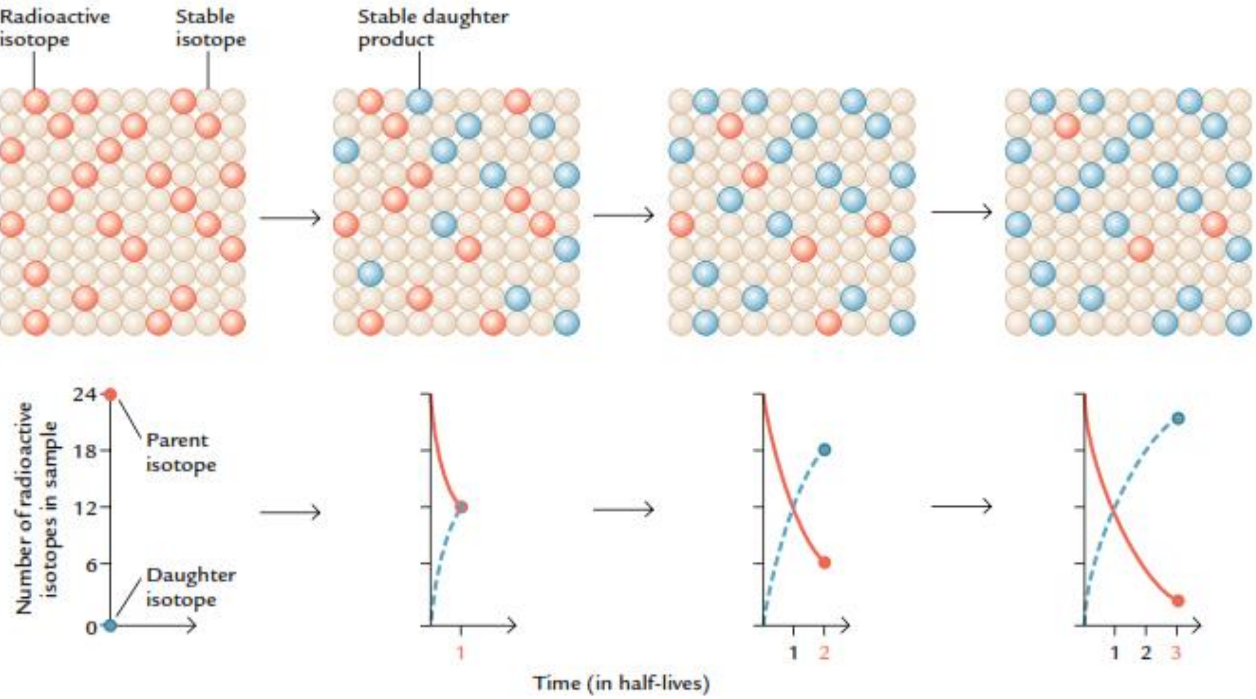

rain
ABOVE SURFACE
plant
plant interception
irrigation
SURFACE
surface retention
overland flow
depression storage
overland flow
streamflow and ponds
runoff out
infiltration
DIRECT EVAPORATION ZONE
soil water
evapotranspiration
ROOT ZONE
roots
soil water
DEEP ZONE
soil water
reservoirs subject to selection by season
evaporation accompanied by isotope fractionation
(pumping)
groundwater
outflow

Fig. 6.10. Flow patterns and processes accompanying transformation of precipitation to runoff and newly formed groundwater. Reservoirs subject to selection by season are shown as rectangular boxes. Double arrows indicate fluxes subject to isotope fractionation (cf. Volume II).


Radioactive isotope
Stable isotope
Stable daughter product
Number of radioactive isotopes in sample
24
18
12
6
0
Parent isotope
Daughter isotope
1
1
2
1
2
3
Time (in half-lives)

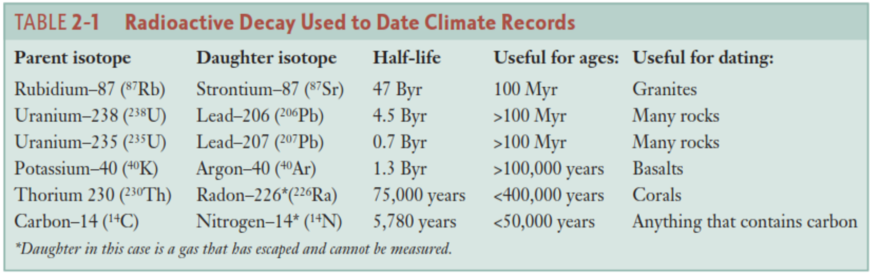
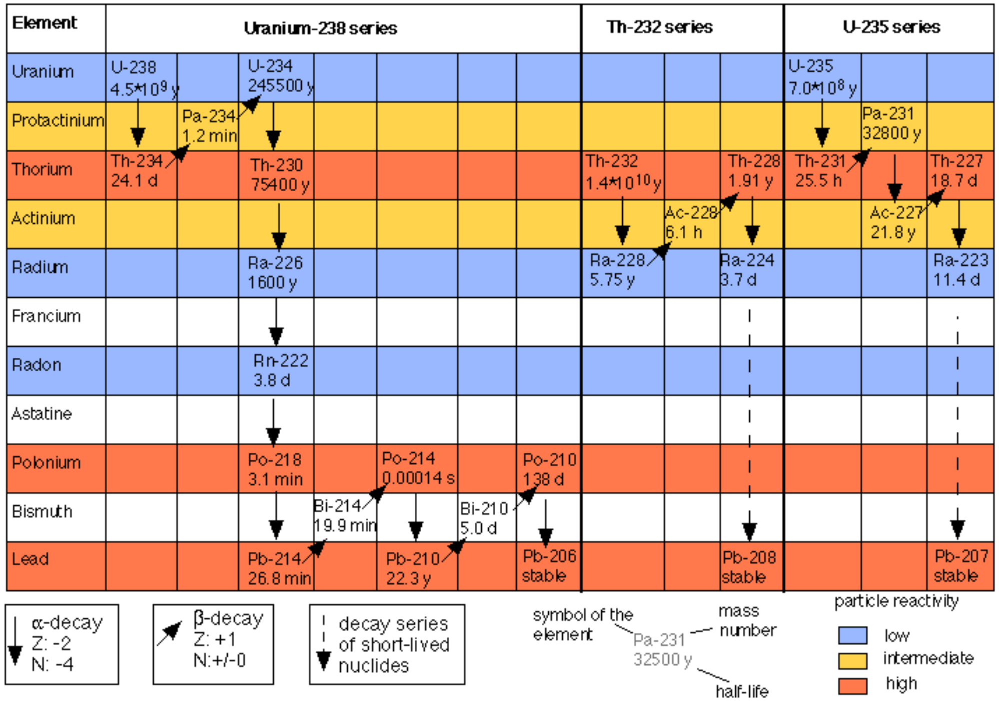


TABLE 2-1 Radioactive Decay Used to Date Climate Records

Parent isotope	Daughter isotope	Half-life	Useful for ages:	Useful for dating:
Rubidium–87 (^{87}Rb)	Strontium–87 (^{87}Sr)	47 Byr	100 Myr	Granites
Uranium–238 (^{238}U)	Lead–206 (^{206}Pb)	4.5 Byr	>100 Myr	Many rocks
Uranium–235 (^{235}U)	Lead–207 (^{207}Pb)	0.7 Byr	>100 Myr	Many rocks
Potassium–40 (^{40}K)	Argon–40 (^{40}Ar)	1.3 Byr	>100,000 years	Basalts
Thorium 230 (^{230}Th)	Radon–226*(^{226}Ra)	75,000 years	<400,000 years	Corals
Carbon–14 (^{14}C)	Nitrogen–14* (^{14}N)	5,780 years	<50,000 years	Anything that contains carbon

Daughter in this case is a gas that has escaped and cannot be measured.



Element	Uranium-238 series							Th-232 series			U-235 series		
Uranium	U-238 $4.5*10^{9}$ y		U-234 245500 y								U-235 $7.0*10^{8}$ y		
Protactinium		Pa-234 1.2 min										Pa-231 32800 y	
Thorium	Th-234 24.1 d		Th-230 75400 y					Th-232 $1.4*10^{10}$ y		Th-228 1.91 y	Th-231 25.5 h		Th-227 18.7 d
Actinium									Ac-228 6.1 h			Ac-227 21.8 y	
Radium			Ra-226 1600 y					Ra-228 5.75 y		Ra-224 3.7 d			Ra-223 11.4 d
Francium													
Radon			Rn-222 3.8 d										
Astatine													
Polonium			Po-218 3.1 min		Po-214 0.00014 s		Po-210 138 d						
Bismuth				Bi-214 19.9 min		Bi-210 5.0 d							
Lead			Pb-214 26.8 min		Pb-210 22.3 y		Pb-206 stable			Pb-208 stable			Pb-207 stable

α-decay
Z: -2
N: -4
β-decay
Z: +1
N:+/-0
decay series of short-lived nuclides
symbol of the element
mass number
Pa-231
32500 y
half-life
particle reactivity
low
intermediate
high