

Lehr- und Forschungsgebiet Neotektonik und Georisiken  
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Bachelorarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Science (B.Sc.)  
im Fach Georessourcenmanagement

**Endorheische Becken in SW-Spanien:  
eine GIS-Vorerkundung  
zu weiterführenden Paläoumwelt-Studien**

---

GIS-based reconnaissance of endorheic basins  
for paleoenvironmental studies

Vorgelegt von: Anne-Sophie Mreyen  
Matrikelnummer 301402

Betreuung: Nicole Höbig (M.Sc.)

Gutachter: Prof. Dr. Klaus Reicherter

Aachen, September 2013

*Hiermit erkläre ich, dass ich die vorgelegte Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als im Literaturverzeichnis angegebenen Quellen benutzt habe. Dies gilt für alle Quelltypen. Ich habe alle Passagen und Sätze der Arbeit, die wortwörtlich oder sinngemäß anderen veröffentlichten und nicht veröffentlichten Werken entnommen sind, unter Angabe der Herkunft der Quelle deutlich als Entlehnung gekennzeichnet. Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht eingereicht worden. Mir ist bekannt, dass Zuwiderhandlungen gegen diese Erklärung und gewusste Täuschungen den Ausschluss von der zur Folge haben können.*

---

Ort, Datum

Unterschrift

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	III
Abbildungsverzeichnis.....	VI
Tabellenverzeichnis.....	VIII
Kurzfassung .....	1
Abstract.....	1
1 Einleitung .....	2
1.1 Zielsetzung.....	2
1.2 Sonderforschungsbereich 806 - Our way to Europe .....	2
1.3 Geologie.....	3
1.3.1 Entwicklung der Iberischen Platte .....	4
1.3.2 Betikum-Rif-Bogen .....	4
1.3.2.1 Betische Kordillere .....	4
1.3.2.2 Neogene Becken.....	6
1.3.2.3 Flysche von Campo de Gibraltar .....	6
1.3.2.4 Alborán-See .....	7
1.4 Quartär.....	7
1.4.1 Klimazyklen im Quartär .....	7
1.4.1.1 Dansgaard-Oeschger-Zyklen .....	7
1.4.1.2 Heinrich-Events.....	8
1.4.1.3 Bond-Zyklen.....	8
1.4.2 Methoden der Paläoklimaforschung .....	9
1.4.3 Sonderstellung der Iberischen Halbinsel .....	11
2 Klima SW-Andalusien.....	12
3 Endorheische Becken .....	14
3.1 Laguna de Medina .....	15
3.1.1 Geografische Einordnung.....	15
3.1.2 Klima.....	15

3.1.3	Hydrologisches Regime .....	16
3.1.4	Geologie.....	17
3.2	Laguna de Hondilla .....	18
3.2.1	Geografische Einordnung.....	18
3.2.2	Klima.....	19
3.2.3	Hydrologisches Regime .....	19
3.2.4	Geologie.....	22
3.3	Laguna del Pilón .....	23
3.3.1	Geografische Einordnung.....	23
3.3.2	Klima.....	24
3.3.3	Hydrologisches Regime .....	24
3.3.4	Geologie.....	25
3.4	Übersicht Laguna de Medina, Laguna de Hondilla und Laguna del Pilón .....	26
3.5	Laguna de la Janda.....	27
3.5.1	Geografische Einordnung.....	27
3.5.2	Hydrologisches Regime .....	27
3.5.3	Klima.....	28
3.5.4	Geologie.....	28
4	Methoden .....	29
4.1	GIS - Anwendung.....	29
4.2	Workflow .....	30
5	Resultate .....	32
5.1	Übersichtslagekarte der Lagunas.....	33
5.2	Laguna de Medina .....	34
5.2.1	Orthofoto .....	34
5.2.2	Höhenmodell des oberirdischen Einzugsgebiets .....	35
5.2.3	Geologische Karte.....	36
5.3	Laguna de Hondilla .....	37
5.3.1	Orthofoto .....	37

5.3.2	Höhenmodell des oberirdischen Einzugsgebiet .....	38
5.3.3	Geologische Karte .....	39
5.4	Laguna del Pilón .....	40
5.4.1	Orthofoto .....	40
5.4.2	Höhenmodell des oberirdischen Einzugsgebiet .....	41
5.4.3	Geologische Karte .....	42
5.5	Laguna de la Janda .....	43
5.5.1	Orthofoto .....	43
5.5.2	Höhenmodell .....	44
5.5.3	Geologische Karte .....	45
6	Auswertung .....	46
6.1	Medina .....	47
6.2	Hondilla .....	49
6.3	Pilón .....	51
6.4	Janda .....	53
7	Zusammenfassung und Fazit .....	55
	Literaturverzeichnis .....	56

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Mögliche Wanderrouten des modernen Menschen (Weniger & Reicherter 28.06.2013).....	3
Abb. 2: Tektonische Struktur der Betischen Kordillere verändert nach Rodríguez-Rodríguez (2007).....	4
Abb. 3: Korrelation zwischen D/O-Zyklen, Heinrich-Events und Bond-Zyklen mit der $\delta^{18}\text{O}$ -Isotopenverteilung nach Eric Grimm mit Daten von (Bond et al. 1993), (Stoner et al. 2000), (Sarnthein et al. 2001) aus (Graham 2005). ....	9
Abb. 4: Wetterstation Jerez de la Frontera Aeropuerto, gemittelte Anteile der Windherkunftsrichtung von 1994-2012 (WeatherSpark 15.08.2013).....	13
Abb. 5: Laguna de Medina mit zugehörigem <i>Reserva Natural Laguna de Medina</i> .....	15
Abb. 6: Klimadaten der Wetterstation <i>Jerez „Azucarera Guadalete“</i> aus(CHG 2005b). ....	16
Abb. 7: Entwicklung des Wasserstands und der Salinität der Laguna de Medina von Juni 1997 bis Oktober 2003, verändert nach (JA 2005). ....	17
Abb. 8: Von N nach S: Laguna de Hondilla, Salada de Zorilla und Dulce de Zorilla mit dem zugehörigen <i>Reserva Natural Complejo Endorreico Espera</i> .....	18
Abb. 9: Klimadaten der Wetterstation <i>Las Cabezas de San Juan "El Algarrobilllo"</i> aus (CHG 2005b).....	19
Abb. 10: Wasserbilanz Laguna de Hondilla aus CHG (2005b).....	21
Abb. 11: Entwicklung des Wasserstands und der Salinität der Laguna de Hondilla von Juni 1997 bis Oktober 2003, verändert nach (JA 2005). ....	22
Abb. 12: Von N nach S: Laguna de Charroae, del Taraje, del Pilón, de la Peña, de la Galiana und de la Cigarrera mit zugehörigem <i>Reserva Natural Complejo Endorreico Lebrija-Las Cabezas</i> . ....	23
Abb. 13: Ehemalige Ausdehnung der Laguna de la Janda, Vorlage aus dem Jahr 1868 nach Francisco Coello und D. Pascual Madóz (El Blog de la Laguna de la Janda 13.05.2013). ....	27
Abb. 14: Orthografische Auswertung der einzelnen Beckenbereiche hinsichtlich potentieller Bohrlokationenen mit Flächeneingrenzung bzw. Transekt-Anordnung. ....	46
Abb. 15: Orthografische Auswertung der Laguna de Medina hinsichtlich potentieller Bohlokationen in Form von Bohr-Transekten (Nr. 1-3 von N nach S) und Flächeneingrenzung für eine Offshore-Bohrung. ....	47
Abb. 16: Orthografische Auswertung der Laguna de Hondilla hinsichtlich potentieller Bohlokationen in Form von Bohr-Transekten (Nr. 4-5 von W nach E).....	49
Abb. 17: Orthografische Auswertung der Laguna del Pilón hinsichtlich potentieller Bohlokationen in Form von Bohr-Transekten (Nr. 6-8 von N nach S). ....	51

Abb. 18: Orthografische Auswertung der ehemaligen Laguna da la Janda hinsichtlich potentieller Bohrlaktionen in Form von einem Bohr-Areal und die Position der Bohrung JAN99-1 nach Luque et al. (1999).....53

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Natürliche Klimaarchive, verändert aus (Bradley 1999) nach (Bradley & Eddy 1991).....	10
Tabelle 2: Klimadaten der Wetterstation Jerez de la Frontera Aeropuerto (AEMET 15.08.2013).....	12
Tabelle 3: Zusammenfassende Übersicht der signifikanten Eigenschaften der Laguna de Medina, Laguna de Hondilla und Laguna del Pilón.....	26
Tabelle 4: Koordinatenangabe der vorgeschlagenen Bohrlokationen zu Laguna de Medina (N nach S).....	48
Tabelle 5: Koordinatenangabe der vorgeschlagenene Bohrlokationen zu Laguna de Hondilla (W nach E). ....	49
Tabelle 6: Koordinatenangabe der vorgeschlagenen Bohrlokationen zu Laguna del Pilón (N nach S).....	51
Tabelle 7: Koordinatenangabe zu Laguna de la Janda der Bohrlokation JAN99-1 aus (Luque et al. 1999). ....	53

## **Kurzfassung**

Paläoklimatische Rekonstruktionen sind zum Verständnis der Paläoumwelt und Umweltentwicklungen unumgänglich. Klimaarchive enthalten Daten der vergangenen Jahre bis Jahrtausende und ermöglichen Rückschlüsse auf die Verhältnisse unserer Vorzeit. Die Iberische Halbinsel weist solche Klimaarchive in Form von lakustrinen Ablagerungen in endorheischen Salzseen auf. Der Sonderforschungsbereich 806 (SFB 806) der Universitäten zu Köln, Bonn und Aachen erforscht mit Hilfe von geowissenschaftlichen und archäologischen Methoden die Geschichte und Migration des Menschen im Zuge des Projektes „Our Way to Europe“. Im Rahmen dieses Projekts werden entsprechende Daten u.a. in Form von lakustrinen Sedimentkernbohrungen geborgen und ausgewertet. Eine GIS-basierte Vorerkundung kann diese Geländearbeiten durch Ausarbeitungen potentieller Bohrlokationen und selektivem Auswerten der gegebenen Parameter, wie z. B. die Topografie und Geologie des Gebiets, erleichtern. Diese Fernerkundung dient somit als Vorschlag und soll Bohrkampagnen in spanischen Salzseen mit paläoklimatischen Forschungszielen optimieren. Das Ergebnis dieser Arbeit sind Angaben zu Bohrungsplätzen an den spanischen Salzseen Laguna de Medina, Laguna de Hondilla, Laguna del Pilón und der künstlich trockengelegten Laguna de la Janda.

## **Abstract**

To understand paleoenvironment and its evolution, paleoenvironmental reconstruction is indispensable. Various climate archives containing data of several thousands of years allow conclusions about environmental conditions in prehistoric times. On the Iberian Peninsula such significant data can be found in lacustrine depositions in endorheic salt lakes. The Collaborative Research Centre 806 (CRC 806) established by the universities of Cologne, Bonn and Aachen examines the history and migration of humanity within the geoscientific and archeological project *Our Way to Europe*. Lacustrine core hole drilling in Spanish endorheic salt lakes is used to gain and evaluate sedimentary data. A GIS-based reconnaissance of those basins may achieve a quality improvement of sediment cores and the consequent paleoclimatic information. The potential drilling spots are supposed to be helpful suggestions and intend to optimize future field expeditions. Result of this work are drilling spots of the Spanish salt lakes Laguna de Medina, Laguna de Hondilla, Laguna del Pilón and the artificial desiccated Laguna de la Janda.

# 1 Einleitung

## 1.1 Zielsetzung

Diese Arbeit wurde mit der Zielsetzung einer Voruntersuchung der endorheischen Becken *Laguna de Medina*, *Laguna de Hondilla*, *Laguna del Pílon* und *Laguna de la Janda* entworfen. Im Vordergrund steht dabei die Erschließung von potentiellen Bohrlokalationen zum Erhalt von wertvollen paläoklimatischen Daten, die weiterführenden geochemischen, sedimentologischen und ökologischen Untersuchungen unterzogen werden können.

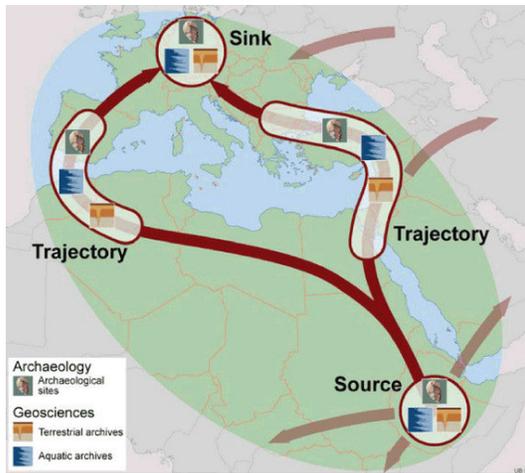
Angestoßen wurde die diese Arbeit durch die im März 2013 stattgefundene Exkursion mit dem Lehr- und Forschungsgebiet Neotektonik und Georisiken der RWTH Aachen im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 806. Während dieser Exkursion konnten bereits Bohrkerndaten der Laguna de Hondilla und Laguna del Pílon gesammelt werden. Die beiden anderen Gebiete, Laguna de Medina und Laguna de la Janda, werden aufgrund ihrer flächenhaften und beständigen Ausdehnung als vielversprechende Bohrlokalationen angesehen.

Mit Hilfe von GIS-Methoden wurden die Bereiche der Lagunen im Allgemeinen als auch auf ihre Eignung zur Paläoklimarekonstruktion fernerkundlich untersucht. Diese dienen der Voruntersuchung von möglichen Klimaarchiven für weitere Geländekampagnen.

Es soll noch angemerkt werden, dass der spanische Begriff *laguna* (dt.: „Lagune“) im Sinne der endorheischen Becken einer falschen Verwendung unterliegt. Laut dem Geologischen Wörterbuch (Murawski & Meyer 2010) handelt es sich bei einer Lagune um ein „durch Walle, Barren oder Riffe vom offenen Meer abgetrenntes Wasserbecken“, die Küstennähe und Abgeschlossenheit vom Meer sind also ausschlaggebende Kriterien. In dieser Arbeit wird in Anlehnung an die spanische Bezeichnung der Salzseen der Begriff Lagune verwendet, auch wenn es sich nicht um Lagunen im geologischen Sinne handelt.

## 1.2 Sonderforschungsbereich 806 - Our way to Europe

Der Sonderforschungsbereich 806 der Universität zu Köln, der Rheinischen Friedrich-Wilhelms Universität Bonn sowie der RWTH Aachen beschäftigt sich mit der Ausbreitung des anatomisch modernen Menschen von Afrika nach Vorderasien und Europa. Zurzeit stehen zwei Wanderwege zur Diskussion: Zum einen die östliche Route über das Niltal, den Vorderen Orient und den Balkan nach Europa, zum anderen der Weg durch Nordwestafrika über Gibraltar. Die nachfolgende **Abb. 1** stellt diese beiden Möglichkeiten dar.



**Abb. 1: Mögliche Wanderrouten des modernen Menschen** (Weniger & Reicherter 28.06.2013).

In Zusammenarbeit betrachten Archäologen, Geographen und Geologen die Zeitspanne der letzten 190.000 Jahre, die die Verbreitung des modernen Menschen aus Afrika bis zu seiner dauerhaften Niederlassung in Europa beinhaltet (Weniger & Reicherter, 28.06.2013).

Der Sonderforschungsbereich ist in mehrere Projekt-Cluster unterteilt. Eines davon ist das C-Cluster, das sich mit der möglichen Migration des Menschen über die Straße von Gibraltar nach Europa beschäftigt. Bereich C1 betrachtet einen anderen Migrationsweg:

Neue Forschungen gehen davon aus, dass der moderne Mensch nicht von Süden über die Straße von Gibraltar nach Europa migriert ist, sondern dass ihn sein Weg zur Iberischen Halbinsel über Zentraleuropa führte. Dies könnte Iberien nach Finlayson et al. (2006) zu einem möglichen Refugium für den Neandertaler erklären, der im restlichen Europa im Aurignacien durch den modernen Menschen verdrängt wurde. Es gibt jedoch auch andere Theorien, wie z. B. von Bradtmöller et al. (2012), der in dem *Repeated Replacement Model* davon ausgeht, dass klimatische Veränderungen, wie z.B. Heinrich-Events und Dansgaard-Oeschger-Zyklen, die Ursache für das Aussterben des Neandertalers sind. Er vermutet außerdem, dass die Koexistenz von Neandertaler und modernem Menschen nur für einen sehr kurzen Zeitraum andauerte.

Durch Multi-Proxy-Ansätze und erneute Analysen aller geologischen und archäologischen Daten erforscht der C1-Bereich die Kultur- und Klimageschichte Iberiens im späten Pleistozän, um den Übergang von Châtelperronien zum Aurignacien rekonstruieren zu können. Mit dem Beginn der zweiten Phase des Sonderforschungsbereichs wird es ein neues Projekt im C-Cluster (C3) geben, welches sich speziell mit Lagunen- und Seesedimenten auf der Iberischen Halbinsel als Klimaarchive für die Zeit vom späten Pleistozän bis zum mittlern Holozän beschäftigt (Weniger & Reicherter, 28.06.2013).

### 1.3 Geologie

Die Iberische Halbinsel bildet die westliche Verlängerung des alpinen Himalaya-Gürtels (Dercourt et al. 1986) und umfasst heute die Staaten Spanien und Portugal sowie die Fürstentümer Andorra und Gibraltar (Reicherter 2001).

### 1.3.1 Entwicklung der Iberischen Platte

Zu Beginn des Mesozoikums gehörte die Iberische Platte zu Eurasien (Dercourt et al. 1986), die kontinentalen Plattenränder entwickelten sich vom Trias bis zur Mittleren Kreide (Ziegler 1988; Ziegler 1990; Srivastava et al. 1990). Zeitlich konsekutiv bildeten sich der atlantische Rand, die Abgrenzung zur Afrikanischen Platte und der nordöstliche Rand der Halbinsel entlang der Pyrenäen (Vergés & Fernández 2006).

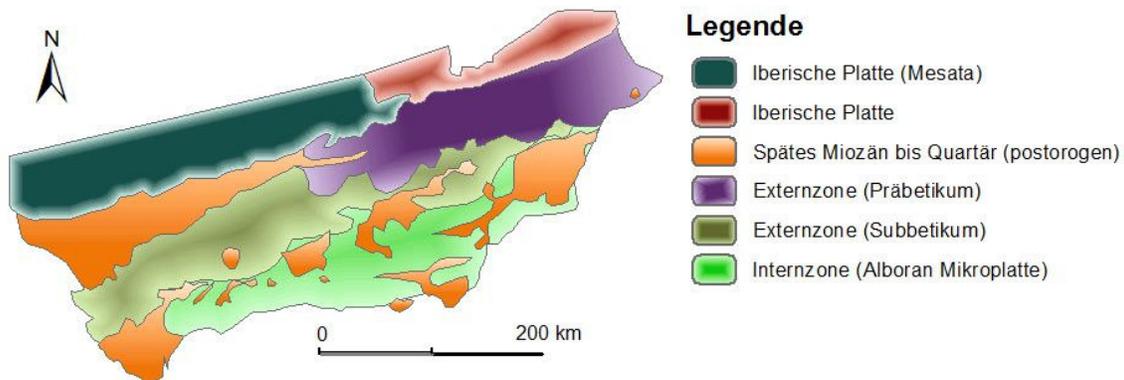
Vor der Konvergenz der Eurasischen und Afrikanischen Platten kam es in der Kreide zur Subduktion der ozeanischen Kruste, die den Verlust des Tethys-Ozeans zur Folge hatte. Die Kollision der Kontinente im Paläozän und späten Eozän bewirkte das Abtauchen der Afrikanischen unter die Eurasische Platte, entlang der Plattengrenzen bildeten sich dadurch orogene Gürtel, Intraplatten-Deformationen und paläogene Sedimentbecken (Rehault et al. 1984; Friend & Dabrio 1996). In den letzten 24 Millionen Jahren fanden an der Afrikanisch-Iberischen Plattengrenze Deformationen statt, die zur Bildung des Gibraltar-Bogens mit der Betischen Kordillere und dem Rif führten (Vergés & Fernández 2006).

### 1.3.2 Betikum-Rif-Bogen

Der bogenförmige Betikum-Rif-Bogen setzt sich aus der Betischen Kordillere und dem Rif-Gebirge Nordmarokkos zusammen, die Alboran-See und die Straße von Gibraltar sind in diesem Komplex enthalten. Die Ausbildung des Rif-Betikum-Orogens ist bis heute nicht eindeutig geklärt und wird durch verschiedene Theorien beschrieben (Platt & Vissers 1989; Andrieux et al. 1971; Lonergan & White 1997; Reicherter 2001).

#### 1.3.2.1 Betische Kordillere

In **Abb. 2** ist die tektonische Struktur der Betischen Kordillere dargestellt. Es handelt sich um ein ENE-WSW streichendes Gebirge (Vergés & Fernández 2006).



**Abb. 2: Tektonische Struktur der Betischen Kordillere verändert nach Rodríguez-Rodríguez (2007).**

Die Betische Kordillere bildet den westlichsten Teil der alpinen Gebirgskette und hat eine Ausdehnung von 600 km Länge und 200 km Breite. Die Kordillere entstand während der alpinen Genese durch den Rückzug des Tethys-Ozeans (García-Hernández et al. 1980). Auf der Grundlage von lithologischen, paläogeographischen und tektonischen Eigenschaften lässt sich die Gebirgskette in Intern- und Externzone mit dem Guadalquivir-Vorlandbecken unterteilen (Sanz De Galdeano 1990).

Die Internzone ist das Ergebnis der Kollision eines Bruchstückes des ehemaligen Alboran-Mikrokontinentes mit Iberien während des Mesozoikums und frühen Känozoikums (Reicherter 2001). Die Struktur ergibt sich hauptsächlich aus überschobenen Einheiten der Trias und des Paläozoikums (García-Hernández et al. 1980; Lonergan & White 1997). Die drei Haupteinheiten sind der Nevado-Filábride-Komplex in der Basis, der Alpujárride-Komplex in der Mitte, überlagert vom Malaguide-Komplex. Der alpine Metamorphosegrad unterscheidet sich für jede Schicht und nimmt von unten nach oben ab (Vergés & Fernández 2006). Die Betische Dorsale (*dorsale calcaire*) bildet den externsten Bereich des Malaguide-Komplex (Sanz De Galdeano 1990). Sie streicht als lange und schmale triassisch-paläogene Abfolge an der Erdoberfläche aus und wird paläogeographisch als Zwischeneinheit der Flyschzone und der Alboran-Mikroplatte in der Tethys interpretiert (Fallot 1948; Casas & Carbo 1990; Reicherter 2001).

Die Externzone schließt, wie in Abb. 2 ersichtlich, nordwestlich an die Internzone an. Im Gegensatz zu Letzterer sind in der Externzone keine paläozoischen Gesteinseinheiten aufgeschlossen. Sie bilden die Basis, auf der triassische bis miozäne Schichten nach Norden bewegt wurden (García-Hernández et al. 1980; Reicherter 2001). Die am Kontinentrand der spanischen Meseta sedimentierten Einheiten der Externzone werden in Präbetikum und Subbetikum unterteilt (Blumenthal 1927; Fallot 1948). Die Schichten bilden ein weitreichendes Überschiebungssystem mit einem hauptsächlich ins Vorland gerichteten Einfallen aus (Banks & Warburton 1991).

Das Präbetikum ist von einer Flachwasser-Fazies geprägt und wurde im Schelfbereich abgelagert. Die Schichten sind autochthonen Charakters und werden ihrerseits anhand von tektonischen Merkmalen eingeteilt in Extern- und Intern-Präbetikum (García-Hernández et al. 1980). Der westliche Bereich des Präbetikums wurde nach Fernandez et al. (1998) vom Subbetikum überschoben. Der externe Teil des Präbetikums besteht hauptsächlich aus triassischen Evaporiten, die von unvollständigen mesozoisch-neogenen Sequenzen überlagert sind. Die triassischen Evaporite bilden einen Überschiebungshorizont zwischen Grundgebirge und den Deckengesteinen (Vergés & Fernández 2006).

Das Subbetikum wurde im Beckenbereich abgelagert und hat einen allochthonen Charakter. Es erstreckt sich südlich des Präbetikums und lässt sich in Extern-, Median- und Intern-Subbetikum unterscheiden. Die Einheiten sind von Überschiebungen geprägt, nach Süden wird jede Einheit von der nachfolgenden Einheit überlagert. Diese Hauptüberschiebungen wurden im späten Oligozän bis frühen Miozän über die Ränder des Präbetikums überschoben (García-Hernández et al. 1980).

#### 1.3.2.2 Neogene Becken

Im unteren bis mittleren Miozän gab es zwei verschiedenen Stadien (syn- und postorogen-Phase) der neogenen Beckenbildung (Viseras et al. 2005). Man unterscheidet nach Sanz de Galdeano & Vera (1992) diese Becken in Intramontan- und Vorland-Becken (z. B. Guadalquivir-Becken). Verschiedene Theorien über ihre Entstehung sprechen einerseits von *strike-slip*-Störungen (Rodríguez-Fernández et al. 1989; Lonergan & White 1997) und andererseits von großen Abschiebungen (Sanz de Galdeano & Vera 1992) als bildende Faktoren. Intramontane Becken befinden sich hauptsächlich an dem Kontakt zwischen Intern- und Externzone des Betikums. Generell handelt es sich dabei um relativ kleine Becken, die mit neogenen Ablagerungen gefüllt sind. (Vissers et al. 1995; Iribarren et al. 2003). In den letzten zwei Jahrtausenden gab es an den seismisch aktiven Becken mehrere mittel- bis starke Erdbeben (Reicherter 2001).

Das Guadalquivir-Becken ist das Vorlandbecken des zentralen und westlichen Teils der Betischen Kordillere und wird durch den Flussverlauf des Guadalquivirs im Norden begrenzt (Berástegui et al. 1998; Iribarren et al. 2003). Es streicht ENE-WSW und liegt im Gegensatz zum High-Tagus-Becken bei Madrid sowie dem Duero- und Ebro-Becken im Norden außerhalb der Iberischen Meseta und stellt ihre südliche Grenze dar. Zudem unterscheidet es sich von den anderen Becken durch seine Drainage-Eigenschaften und zählt zu den exorheischen Becken. In seinem frühen Evolutionsstadium war es offen zum Atlantik und hat daher eine marin-kontinentale Entwicklung durchlaufen (Vergés & Fernández 2006; Casas-Sainz & De Vicente 2009). Die Füllung des Beckens besteht aus postorogenen Sedimenten mit vereinzelt oliostolithischen Massen des Subbetikums (Sanz De Galdeano 1990).

#### 1.3.2.3 Flysche von Campo de Gibraltar

Die Einheiten des Campo de Gibraltar bestehen aus terrigenen, verfalteten Ablagerungen des Oligozäns bis zum frühen Miozän (Crespo-Blanc & Campos 2001). Sanz de Galdeano (1990), der die Entstehung des Gibraltar-Bogens tektonisch interpretiert, geht von einer extensionalen Bewegung des „Alboran-Basin“ aus, die eine Materialkomprimierung des „Flysch-Basin“ verursachte. Desweiteren unterlief der Flyschkomplex diversen Verformungen

bis zum späten Miozän, darunter die Überschiebung durch die Betische Dorsale (Durand-Delga & Fontboté 1980; Gràcia et al. 2003).

#### 1.3.2.4 Alborán-See

Im späten Paläogen und Neogen formten Extensionsprozesse den Valenzia-Trog und darauffolgend die Alboran-See (Sanz de Galdeano 1996). Letztere ist 150 km breit und 350 km lang. Begrenzt wird sie im Norden durch die Betische Kordillere, im Süden durch das Rif von Marokko und im Westen gen Atlantik durch die Straße von Gibraltar (Comas et al. 1992; Reicherter 2001). Die Alboran-See erreicht eine Tiefe von weniger als 2000 m und ist durch eine komplexe Untergrund-Physiografie gekennzeichnet (Comas et al. 1992). Sie ist von ausgedünnter kontinentaler Kruste unterlagert, die Mächtigkeiten von 13 bis 20 km erreicht (Sanz De Galdeano 1990; Platt & Vissers 1989). Die Eintiefung der Alboran-See, wie auch der neogenen Becken, fand im frühen bis mittleren Miozän durch Extension und Subsidenz statt (Hoernle et al. 1999).

### 1.4 Quartär

Das Quartär ist das jüngste Erdzeitalter und erstreckt sich über die letzten 2,588 Ma. Es wird in Pleistozän (2,588 – 0,0117 Ma) und Holozän (0,0117 Ma - heute) unterteilt (Cohen et al. 2013). Das Pleistozän definiert sich durch seine Abgrenzung als letztes Eiszeitalter, das Holozän dagegen wird als Interglazialzeit angesehen, die mit dem Beginn des letzten Kälterückschlags der Weichsel-/Würm-Vereisung zusammenfällt (Woldstedt 1962).

Kennzeichnend für das Quartär sind starke abrupte Klimaschwankungen aufgrund von internen und externen Prozessen, die mit Wechselwirkungen innerhalb des Klimasystems gekoppelt auftreten. Generell kann eine Abgrenzung klimasteuernder Ereignisse zeitlich und chronologisch vorgenommen werden (Kubatzki 2000; Abrantes et al. 2012). Es werden dabei tektonische Prozesse, astronomische Einwirkungen, und rezenterere Ereignisse, z.B. atmosphärische und ozeanische Instabilitäten (*millennial scale variability*) sowie anthropogen induzierte Klimaschwankungen unterschieden (Wolff et al. 2010; Abrantes et al. 2012).

#### 1.4.1 Klimazyklen im Quartär

##### 1.4.1.1 Dansgaard-Oeschger-Zyklen

Die Dansgaard-Oeschger-Zyklen (D/O-Zyklen) stellen eine dynamische Phase während des letzten Glazials dar und sind durch schnelle Klimawechsel charakterisiert (Wolff et al. 2010; Dansgaard et al. 1993). Anhand von Aufzeichnungen grönländischer Eisbohrkerne der letzten Glazialperiode, entdeckte man diese Wechsel bei der Untersuchung von Sauerstoff-Isotopenverteilungen. Dabei deuteten Schwankungen der  $\delta^{18}\text{O}$ -Isotope auf markante Wechsel von Warm- und Kaltzeiten in den letzten 75000 Jahren hin (Rasmussen et al.

1996). Kennzeichnend sind abrupte Aufwärmphasen mit einem Temperaturanstieg von meist  $>10^{\circ}\text{C}$  und einem nachfolgenden graduellen Abkühlen (Wolff et al. 2010; Genty et al. 2003). Dieser Temperaturverlauf gleicht einem Sägezahnmuster und ist in **Abb. 3** abgebildet.

Diese Abkühlungsperioden, die mit den Heinrich-Events (siehe Abschnitt 1.4.1.2) korrelieren, nennt man Stadiale (Moreno et al. 2005). Sie führten zur Veränderung der thermohalinen Zirkulation im Nordatlantik aufgrund von kalten polaren Wassermassen, die durch das Abschmelzen von Eiskappen ins Mittelmeer eingedrungen sind (Bond et al. 1993; Moreno et al. 2005). Die Aufwärmphasen werden als Interstadiale bezeichnet. Sie zeichnen sich durch wärmere Temperaturen und durch eine höhere kontinentale Humidität aus (Moreno et al. 2005).

Die Dauer eines D/O-Zyklus liegt in etwa zwischen 500 und 3000 Jahren (Dansgaard et al. 1993), ihre durchschnittliche Periodizität liegt nach Wolff et al. (2010) bei 1450 Jahren. Es konnten in der Vergangenheit 24 solcher Zyklen in grönländischen Eiskernen datiert werden (Genty et al. 2003).

#### 1.4.1.2 Heinrich-Events

Der deutsche Paläoklimatologe Hartmut Heinrich definierte die nach ihm benannten Heinrich-Events. In marinen Sedimentkernen des Nordatlantiks bemerkte er auffällige Grobfractionen ( $> 180\ \mu\text{m}$ ) von Sedimentablagerungen, die aus der letzten Glazialperiode stammen (Heinrich 1988). Diese Grobfractionen bezeichnete er als *ice-rafted detritus*, also vom Eisberg transportiertes Material, die auf große Kalbungsvorgänge an Eisschilden während der Interstadiale zurückzuführen sind (Bradley 1999). Grousset et al. (1993) erläutern, dass diese Sedimente weit über den Atlantik transportiert wurden, gestützt von Cacho et al. (1999), die sie zum ersten Mal im Mittelmeerraum an Bohrungen in der Alboran See identifizierten. Die Heinrich-Events äußern sich daher in diesen grob-sedimentologischen Schichten, auch Heinrich-Layer genannt, die auf Kältemaxima hindeuten (Heinrich 1988). Bisher konnten sechs solcher Events in Bohrkernanalysen nachgewiesen werden (Bond et al. 1992; Bond et al. 1993), ihr Wiederkehrintervall schwankt zwischen 7000 und 17000 Jahren (vgl. Abb. 3).

#### 1.4.1.3 Bond-Zyklen

Gerard C. Bond, ein US-amerikanischer Geologe, stellte in seiner Arbeit (Bond et al. 1997) die D/O-Zyklen und die Heinrich-Events in einen direkten Zusammenhang und fasst diese in übergeordneten zehntausend-jährigen Klimazyklen zusammen. In der Regel beinhaltet ein Bond-Zyklus 4-5 D/O-Zyklen (vgl. Abb. 3). Beendet wird er mit einem Kältemaximum, das mit

einem Heinrich-Event zusammenfällt (Voelker 1999) und ein erneutes Einsetzen einer Erwärmungsphase voraussetzt (Bond & Lotti 1995).

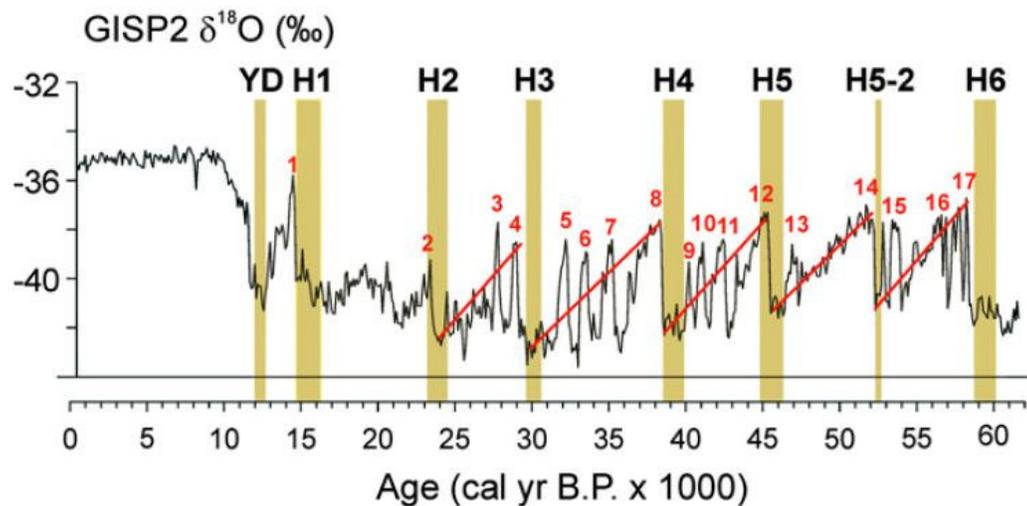


Abb. 3: Korrelation zwischen D/O-Zyklen, Heinrich-Events und Bond-Zyklen mit der  $\delta^{18}\text{O}$ -Isotopenverteilung nach Eric Grimm mit Daten von (Bond et al. 1993), (Stoner et al. 2000), (Sarthein et al. 2001) aus (Graham 2005).

#### 1.4.2 Methoden der Paläoklimaforschung

Zur Rekonstruktion des Paläoklimas einer Region kann man auf natürliche Klimaarchive zurückgreifen. Diese sind entweder natürlich aufgeschlossen oder können durch Bohrkerne gewonnen werden. Sie sind Speicher von Umweltparametern, die mit verschiedenen Methoden offengelegt werden können. In der nachstehenden **Tabelle 1** werden die wichtigsten Klimaarchive mit ihrer Reichweiten und ihrem Informationspotential dargestellt:

**Tabelle 1: Natürliche Klimaarchive, verändert aus (Bradley 1999) nach (Bradley & Eddy 1991).**

Klimaarchive	Reichweite (in a)	Informationspotential
Historische Aufzeichnungen	10 <sup>3</sup>	T, N, B, V, M, W, S
Jahresringe (Bäume)	10 <sup>4</sup>	T, N, B, V, M, S
Seesedimente (Warven)	10 <sup>4</sup> -10 <sup>6</sup>	T, B, M, N, V, C <sub>W</sub>
Korallen	10 <sup>4</sup>	C <sub>W</sub> , W, T, N
Eisbohrkerne	5x10 <sup>5</sup>	T, N, C <sub>L</sub> , W, V, N, S
Pollen	10 <sup>5</sup>	T, N, B
Speläotheme	5x10 <sup>5</sup>	C <sub>W</sub> , T, N
Paläoböden	10 <sup>6</sup>	T, N, B
Löss	10 <sup>6</sup>	N, B, M
Geomorphologische Ausbildung	10 <sup>6</sup>	T, N, V, W
Marine Sedimente	10 <sup>7</sup>	T, C <sub>W</sub> , B, M, W, N

Erläuterung: **T**=Temperatur; **N**=Niederschlag, Luftfeuchte, Wasserhaushalt; **C**=Chemische Zusammensetzung von Wasser (C<sub>W</sub>) und Luft (C<sub>L</sub>); **B**=Biomasse- und Vegetationsverteilung; **V**=Vulkanische Eruptionen; **M**=Schwankungen des Geomagnetfelds; **W**=Wasserspiegel; **S**=Solaraktivität

Zur Erforschung des Paläoklimas in limnischen Archiven werden meist Kernbohrungen abgeteuft und die daraus gewonnen Sedimente untersucht. Es gibt verschiedene Untersuchungsmethoden, darunter u.a. die Sedimentologie, Palynologie und geochemische Elementanalyse. Sedimentologische Untersuchungen erfordern eine Aufbereitung des Materials, um einzelne Parameter zu determinieren. Darunter fallen beispielsweise die Durchführung von Korngrößenanalysen sowie die Bestimmung der Porosität und der Schichtungsverhältnisse. Resultierend können Unterschiede in den Lagen mit Änderungen der vergangenen Umweltbedingungen des Milieus in Verbindung gebracht werden. Die Untersuchung von Pollen ermöglicht Rückschlüsse auf die Vegetation zum Ablagerungszeitraum und damit auf die klimatischen Bedingungen, die zu der Zeit vorherrschten (Jalut et al. 2000). Geochemische Elementanalysen, z.B. mit Röntgenfluoreszenzanalyse, wie Martín-Puertas et al. (2009) sie durchgeführt haben, geben hochaufgelöste Elementzusammensetzungen der einzelnen Schichten wieder. Mit zusätzlichen geographischen und geologischen Informationen kann daraus ebenfalls auf das Paläoklima geschlossen werden. Da die meisten Nachweismethoden in ihren Ergebnissen Fehler aufweisen können, werden in der Regel Multi-Proxy-Studien durchgeführt, bei denen die verschiedenen Hinweise miteinander zu einer Gesamtaussage über die klimatischen Bedingungen verknüpft werden.

### 1.4.3 Sonderstellung der Iberischen Halbinsel

Die Iberische Halbinsel ist aufgrund ihrer geographischen Lage besonders gut für Paläoklimaforschung geeignet und nimmt eine Sonderstellung ein. Die Halbinsel ist das Bindeglied zwischen der Westwindzone und den nordafrikanischen Einflüssen, da dort die subpolaren und subtropischen Klimazonen aufeinander treffen (Moreno et al. 2005; Bout-Roumazielles et al. 2007). Es handelt sich um einen für klimabedingte Umweltveränderungen sensiblen Bereich, was sich besonders in sedimentären Ablagerungen widerspiegelt. So z.B. in endorheischen Salzseen, die aufgrund des ariden Klimas in Iberien häufig vorkommen (Reed 1996).

Nach Reed (1996) eignen sich endorheische Becken in ariden bzw. semi-ariden Regionen, wie in diesem Fall Südspanien, als Lieferanten für hochauflösende, unterbrechungsfreie Paläo-Umweltstudien. Sie zeichnen Änderungen im Klima, der Tektonik, der geomorphologischen Aktivitäten, der Vegetation und Biotik im Wasser sowie von anthropogenen Einflüssen auf (Cohen 2003). Durch Analysen von Bohrkernen können Rückschlüsse auf die Paläolimnologie von Seen gezogen werden. Dies beinhaltet ehemalige Wasserspiegelstände und damit verbunden die Salinität und klimatisch bedingte Änderungen des Wasserhaushalts (Morellón et al. 2009). Die Qualität dieser geochemischen Signaturen ist besonders hoch, da die Seen auch auf kurzfristige Änderungen der Umweltbedingungen reagieren und durch ihre hohen Sedimentationsraten eine chronologische Aufzeichnung mit wenigen Unterbrechungen ermöglichen (Battarbee 2000).

## 2 Klima SW-Andalusien

Andalusien ist die südlichste Region auf spanischem Festland und in acht Provinzen untergliedert. Da sie den Großteil der südlichen Küste Spaniens ausmacht, ist ihr Klima von marinen Einflüssen geprägt. Insgesamt 17% aller Feuchtgebiete Spaniens, darunter Inland- und Küstenfeuchtgebiete, liegen in Andalusien (Rodríguez-Rodríguez 2007).

Die Salzsee-Region Andalusiens im Guadalquivir-Becken, SW-Spanien, zeichnet sich durch ein mediterran semi-arides Klima aus. Charakteristisch sind die milden, eher feuchten Wintermonate (Oktober bis April), die durch das Eindringen feuchter Atlantikwinde der nahen Küste geprägt sind. Die Sommermonate (April bis Oktober) sind heißer und trockener Natur, Tagestemperaturen erreichen oftmals über 40°C (vgl. Font Tullot 1983 zit. n. Reed 1996; Reed et al. 2001).

Zur kurzen Erläuterung des regionalen Klima wird auf die Wetterstation *Jerez de la Frontera Aeropuerto* (27 m ü.d.M.) zurückgegriffen, da sie eine zentrale Lage zwischen den in Folge vorgestellten Lagunen einnimmt. In **Tabelle 2** werden die über einen Zeitraum von 29 Jahren (1971-2000) gemittelten Daten dieser Station aufgelistet.

**Tabelle 2: Klimadaten der Wetterstation Jerez de la Frontera Aeropuerto (AEMET 15.08.2013).**

### Valores climatológicos normales. Jerez de la Frontera Aeropuerto

Periodo: 1971-2000 - Altitud (m): 27  
 Latitud: 36° 45' 2" N - Longitud: 6° 3' 21" O - Posición: Ver localización

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	10.7	15.9	5.4	89	78	7	0	1	4	2	10	181
Febrero	12.0	17.5	6.6	60	75	7	0	1	4	1	8	181
Marzo	14.0	20.2	7.7	42	68	5	0	1	3	0	10	233
Abril	15.4	21.5	9.4	54	66	6	0	2	2	0	7	243
Mayo	18.4	24.6	12.1	37	63	4	0	1	2	0	8	297
Junio	22.0	28.8	15.3	13	59	2	0	1	1	0	14	310
Julio	25.5	33.0	18.0	2	54	0	0	0	1	0	21	353
Agosto	25.7	33.1	18.4	6	56	0	0	0	1	0	20	337
Septiembre	23.5	30.2	16.8	22	61	2	0	1	1	0	13	258
Octubre	19.1	25.0	13.3	67	69	6	0	1	2	0	9	228
Noviembre	14.7	20.1	9.2	86	75	7	0	1	3	0	10	187
Diciembre	11.9	16.8	7.1	109	79	9	0	1	4	1	8	162
Año	17.7	23.9	11.6	598	67	54	0	12	28	4	137	2966

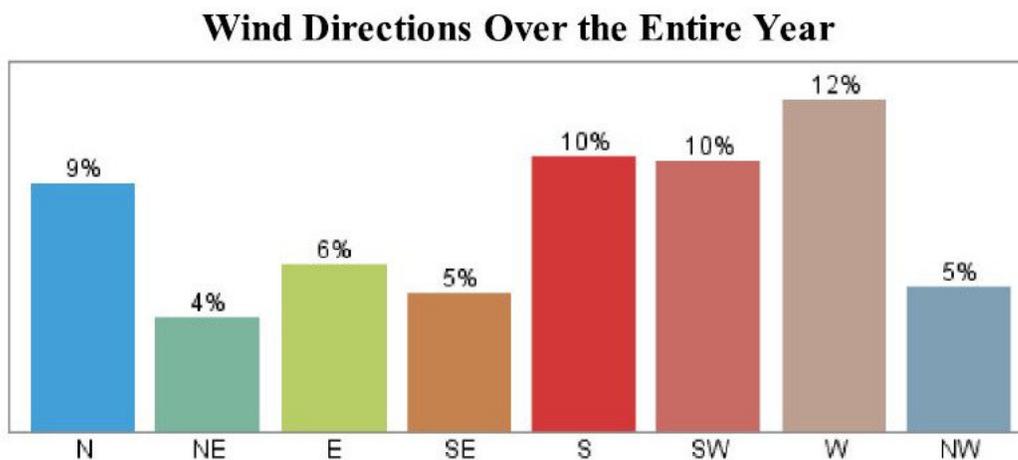
#### Leyenda

- T Temperatura media mensual/anual (°C)
- TM Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C)
- Tm Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C)
- R Precipitación mensual/anual media (mm)
- H Humedad relativa media (%)
- DR Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm
- DN Número medio mensual/anual de días de nieve
- DT Número medio mensual/anual de días de tormenta
- DF Número medio mensual/anual de días de niebla
- DH Número medio mensual/anual de días de helada
- DD Número medio mensual/anual de días despejados
- I Número medio mensual/anual de horas de sol

Die mittlere Jahrestemperatur („T“ in Tabelle 1) beträgt 17,7°C mit dem im Mittel kältesten Monats im Januar mit 10,7°C und dem heißesten Monat im Juli mit 25,5°C, mittleren

Tageshöchstwerten von 33,3°C („T<sub>M</sub>“) und 353 Sonnenstunden („I“). Der mittlere Jahresniederschlag („R“) liegt bei 598 mm, das Jahresminimum befindet sich im Juli mit durchschnittlich 2 mm und das Jahresmaximum im Dezember mit durchschnittlich 109 mm. Die mittlere relative Luftfeuchte („H“) schwankt von Oktober bis März zwischen 69 und 79% bei einem Maximum im Dezember.

Ein relevanter Punkt ist zudem die Hauptwindrichtung der Umgebung. In **Abb. 4** sind die prozentualen Anteile der Hauptwindrichtungen dargestellt, mit einer Datenmittelung aus 18 Jahren (von 1994-2012). Auffällig ist das Maximum von 12% der aus dem Westen strömenden Winde. Auch die SW - und S-Richtungen sind mit 10% prägnanter. Östliche Winde sind dagegen zwischen 4% und 6% aufgelistet, mit einem Minimum der NE-Winde bei 4%. Schlussfolgernd sind die Küstenwinde des Atlantiks statistisch dominanter als die Festlandwinde aus dem Osten.



**Abb. 4:** Wetterstation Jerez de la Frontera Aeropuerto, gemittelte Anteile der Windherkunftsrichtung von 1994-2012 (WeatherSpark 15.08.2013).

### **3 Endorheische Becken**

Als endorheisch werden Gewässergebiete ohne Oberflächenabfluss bezeichnet (vgl. Schaefer 2011). Diese endorheischen Becken sind von besonderem Wert für paläoklimatische Untersuchungen aufgrund der hervorragenden Konservierung aller in ihren Wasserkörpern sedimentierten Sequenzen (vgl. Abschnitt 1.4.3).

Die in dieser Arbeit untersuchten Becken liegen im Bereich des Guadalquivir Beckens und des Subbetikums, der externen Zone der Betischen Kordillere. In dieser Region sind geologisch betrachtet vor allem triassische Tone, Mergel und Evaporite an der Erdoberfläche aufgeschlossen. In diesen Sequenzen sind Gipskarst-Entwicklungen dominant und u.a. für die Entwicklung solcher Beckenformationen verantwortlich (Rodríguez-Rodríguez et al. 2006).

Der anthropogene Einfluss auf diese Formationen ist wesentlich bei einer wissenschaftlichen Betrachtung der untersuchten Gebiete. Rodríguez-Rodríguez (2007) zählt dazu u.a. Beeinflussungen durch Entwässerungs- oder Bewässerungsprozesse, Verschmutzung, Eutrophierung, Straßenbau, Mineralabbau und Grundwasserentnahme.

## 3.1 Laguna de Medina

### 3.1.1 Geografische Einordnung

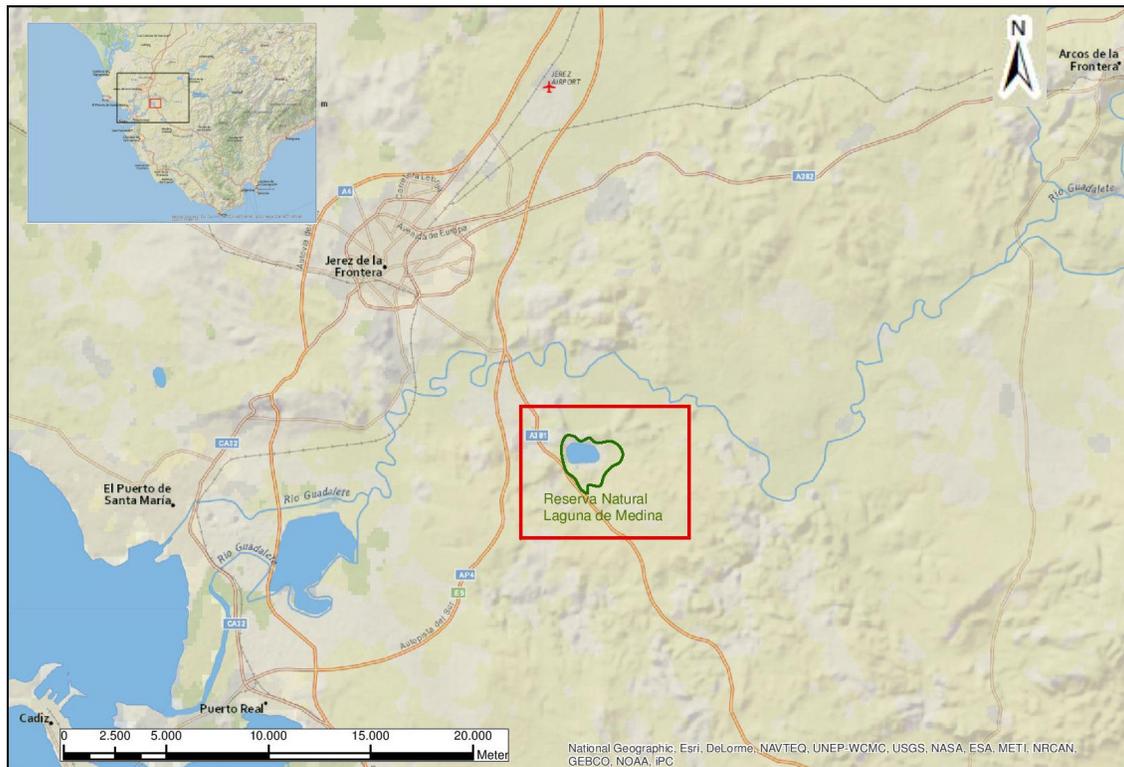
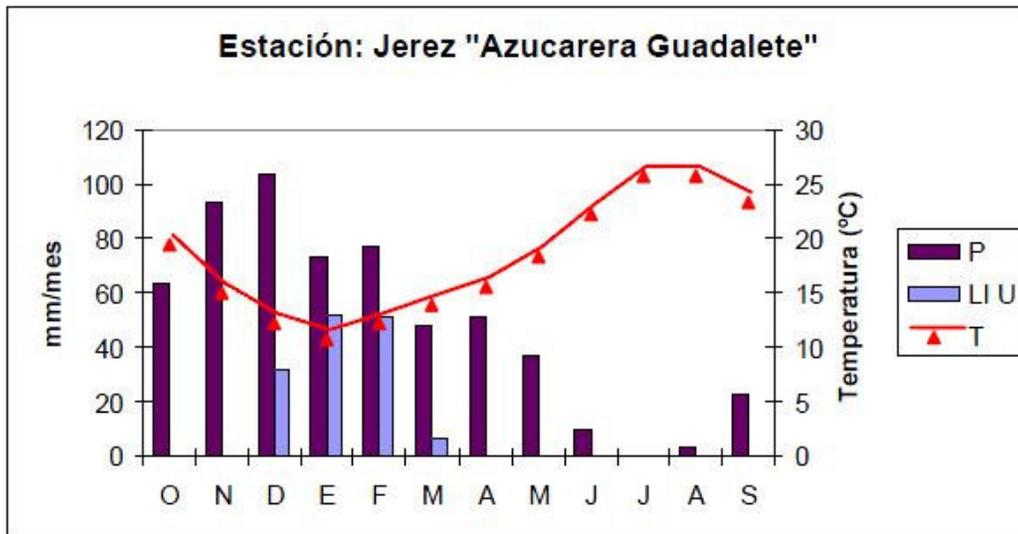


Abb. 5: Laguna de Medina mit zugehörigem *Reserva Natural Laguna de Medina*.

Das *Reserva Natural Laguna de Medina* (vgl. **Abb. 5**) liegt in der spanischen Provinz Cádiz im Guadalquivir-Becken, 10 km südwestlich von Jerez de la Frontera. Oberhalb der Lagune verläuft in etwa 3 km Entfernung der *Río Guadalete* und südwestlich in etwa 6 km Entfernung der *Arroyo Salado*. Westlich des Salzsees befindet sich die Schnellstraße A381 und die etwa 20 km entfernte Küste (vgl. CHG 2005). Das Naturreservat ist seit 1987 staatliches Schutzgebiet mit einer geschützten Fläche (*Zona de Protección*) von 2,54 km<sup>2</sup> (254 ha) (Presidencia de la Junta de Andalucía, 1987).

### 3.1.2 Klima

Die Wetterstation *Jerez „Azucarera Guadalete“* (20 m ü.d.M.) befindet sich 5 km NNW der Lagune. **Abb. 6** zeigt die Entwicklung der gemittelten Temperatur und des gemittelten Niederschlags pro Monat auf einer Datengrundlage von 28 Jahren. Im Juli kommt es zu Höchsttemperaturen von 25,7°C mit 0 mm Niederschlag und maximalen potentiellen Evapotranspirationsraten von 158 mm. Die humide Phase findet durchschnittlich in den Wintermonaten mit einem gemittelten Maximum von 104 mm Niederschlag pro Monat im Dezember statt (CHG 2005b).



Legende: P: Niederschlag (mm/Monat)  
 LI U: Effektiver Regenanteil (mm/Monat)  
 T: Temperatur (°C/Jahr)

Abb. 6: Klimadaten der Wetterstation Jerez „Azucarera Guadalete“ aus(CHG 2005b).

### 3.1.3 Hydrologisches Regime

Die Laguna de Medina ist das größte und tiefste endorheische Becken der Provinz Cádiz und zeichnet sich durch einen semipermanenten<sup>1</sup> Charakter aus (JA 2005; Rodríguez-Rodríguez 2007). Sie liegt 30 m ü.d.M. und ihre wasserbedeckte Fläche beläuft sich im Mittel auf 1,2 km<sup>2</sup> (120,1 ha) (CHG 2005b). Die Flächenausdehnung ihres oberirdischen Einzugsgebiets beträgt laut der Junta de Andalucía (JA 2005) 18,9 km<sup>2</sup> (1888,76 ha).

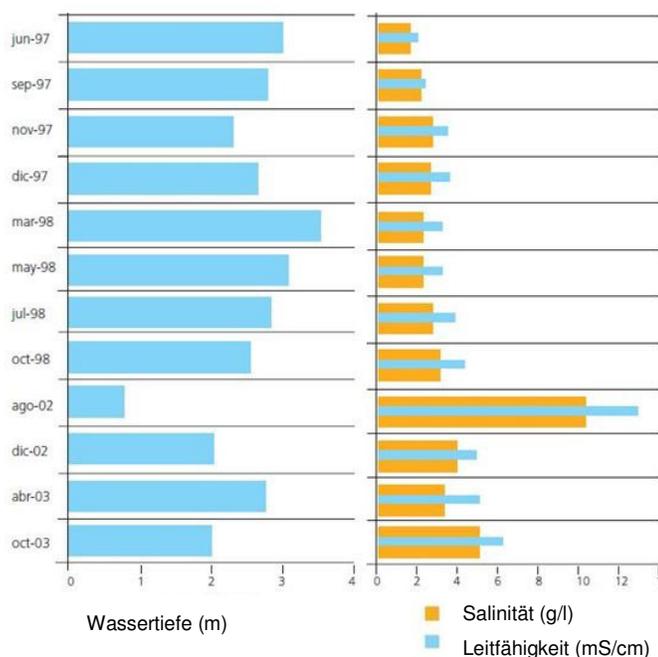
Rodríguez-Rodríguez (2007) klassifiziert die Laguna de Medina in den Typ „Feuchtgebiet mit permeablem Untergrund“ und beschreibt den Wasser-Input des Beckens als *epigenic*<sup>2</sup> und den -Output als Mischung aus Evaporation und Infiltrationsprozessen (*groundwater recharge*). Der Hauptgrund für eine Unausgeglichenheit der Wasserbilanz liegt in der Grundwasserinfiltration.

Der maximale Wasserstand des Sees beträgt nach Angaben der Junta de Andalucía (JA 2005) 3,5 m. Laut Reed et al. (2001) kommt es in besonders ariden Jahren wie beispielsweise 1977-78, 1980-81 und 1992-93 zu einer vollständigen Austrocknung der Lagune. Weitere, den Wasserstand negativ beeinflussende Auswirkungen, sind auf anthropogene Aktivitäten zurückzuführen, so z. B. die seit 1948 stattfindende Wasserentnahme zu Bewässerungszwecken der nahen landwirtschaftlichen Kultivierung (López Bermúdez &

<sup>1</sup> Der Begriff *semipermanent* bezieht sich auf die Wasserführung des Beckens. Unterschieden wird zwischen permanent, semipermanent und saisonal. (vgl. Rodríguez-Rodríguez 2007)

<sup>2</sup> *Epigenic*: Wasser-Input dominiert durch Oberflächengewässer des Einzugsgebiets. Im Gegensatz dazu *hypogenic*: Wasser-Input dominiert durch Grundwasserzufluss.

Tello Ripa 1988 zit. n. Reed et al. 2001). Dies spiegelt sich laut Reed et al. (2001) auch in den Salzgehalten des Wassers wider, bei denen eine kontinuierliche Steigerung im Laufe der Jahre erkennbar ist. Die rezente Entwicklung des Wasserstands der Lagune in Korrelation mit der Salinität des Wassers ist in **Abb. 7** dargestellt.



**Abb. 7: Entwicklung des Wasserstands und der Salinität der Laguna de Medina von Juni 1997 bis Oktober 2003, verändert nach (JA 2005).**

Wasserstand und Salinität sind umgekehrt proportional zueinander, in humideren Phasen steigt demzufolge der Wasserstand und die Salinität schwankt durchschnittlich zwischen 1,5-3 g/l. In trockeneren Perioden kommt es zu Eindampfungsvorgängen, der Wasserspiegel sinkt und der Salzgehalt des Wassers steigt auf Werte von 3,5-10 g/l an (JA 2005).

Die beiden Flüsse *Arroyo de Fuente Berneja* und *Arroyo de Martelilla*, ca. 5 km und 3 km lang, knüpfen südöstlich als untergeordnete Zuflüsse an die Lagune an. Beide sind vollständig im oberirdischen Einzugsgebiet enthalten und sind temporärer Natur bzw. fallen in den Sommermonaten trocken (Reed et al. 2001; CHG 2005b).

### 3.1.4 Geologie

Das oberirdische Einzugsgebiet der Laguna de Medina wird von triassischen Sedimenten, wie Mergel- und Tonablagerungen, Buntsandstein sowie dolomitischen und gipsreichen Evaporiten dominiert. Aus der oberen Kreide bis unteres Paläogen finden sich direkt südlich der Lagune die sogenannten *capas rojas* wieder, bestehend aus mergeligen und Mergel-Kalk-Sequenzen. Eozän-Miozäne dunkelgrüne Tonsteine, Kalkarenite, Mergel- und Biomikrit-

ablagerungen sind hauptsächlich westlich der Lagune aufgeschlossen. Desweiteren befinden sich nördlich der Laguna de Medina quartäre, alluviale Terassenablagerungen des Río Guadalete (IGME 1984). Weiter südlich der Lagune sind ebenfalls alluviale Ablagerungen bei Arroyo de Fuente Berneja und de Martelilla vorzufinden, sie bestehen hauptsächlich aus Silt, Sand und Kies (IGME 1984; CHG 2005b). Geohydrologisch betrachtet ist das Gebiet von Dolinenbildung und Gipskarstifikation geprägt (Rodríguez-Rodríguez 2007). Rodríguez-Vidal et al. (1993) beschreiben die Entwicklung der heutigen Ausbildung der Lagune als eine vom mittleren bis späten Pleistozän stattfindende karstbedingte Absenkung in triassischen Gipssequenzen.

## 3.2 Laguna de Hondilla

### 3.2.1 Geografische Einordnung

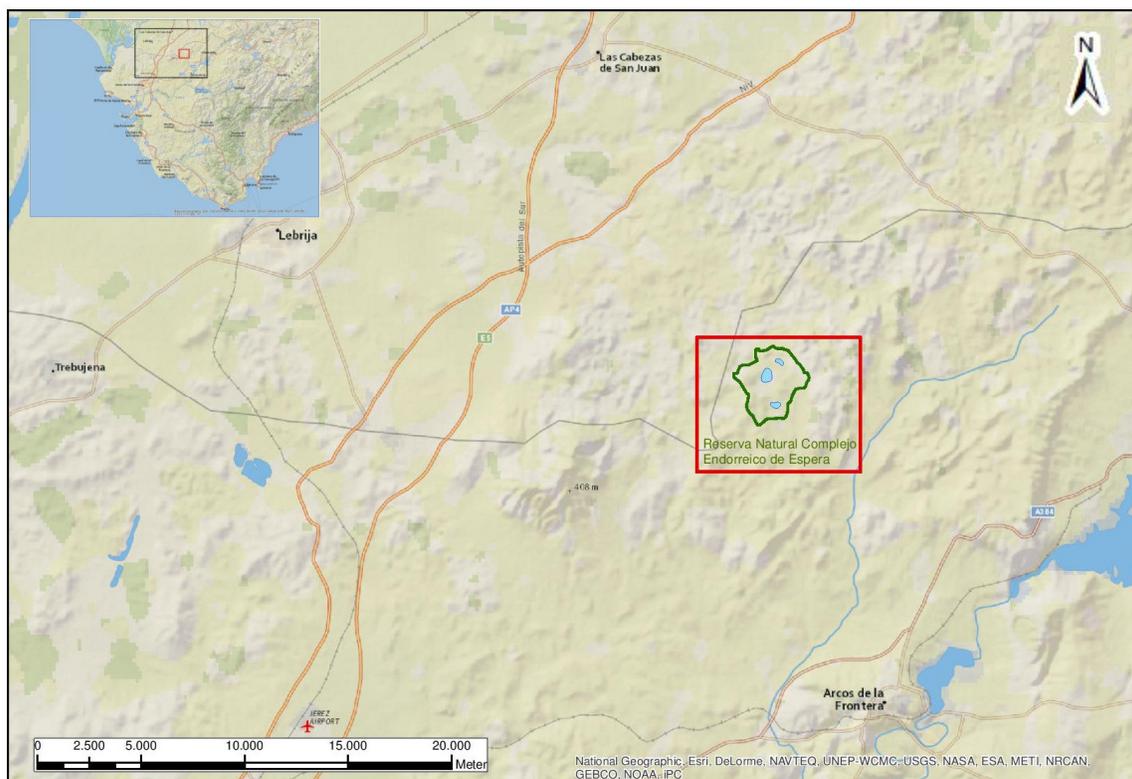


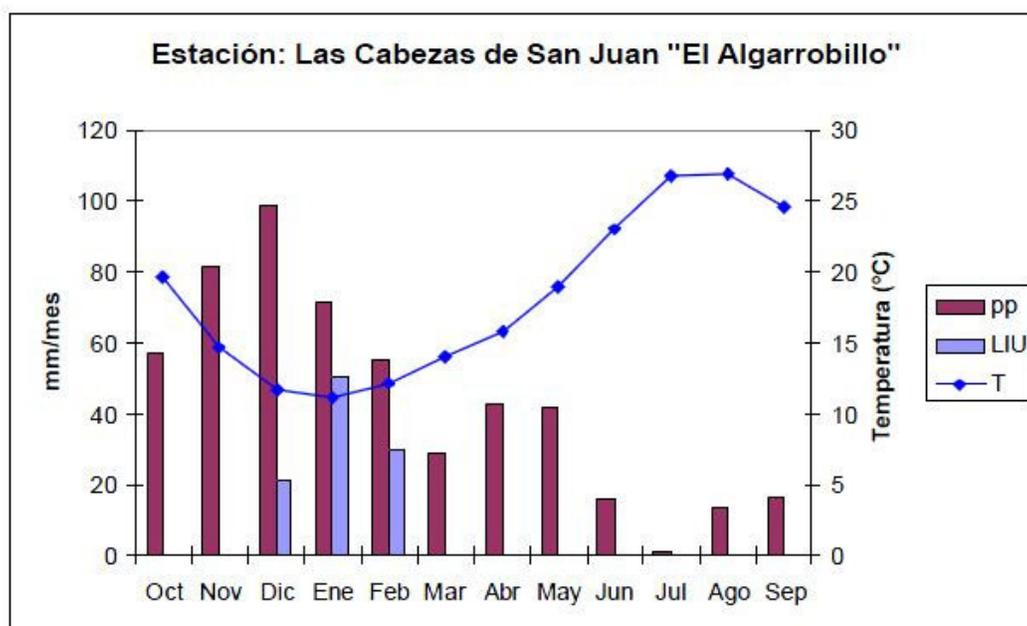
Abb. 8: Von N nach S: Laguna de Hondilla, Salada de Zorilla und Dulce de Zorilla mit dem zugehörigen Reserva Natural Complejo Endorreico Espera.

Die in der Provinz Cádiz liegende Laguna de Hondilla gehört zur Kommune Espera und bildet mit den beiden endorreischen Becken Laguna Salada de Zorilla und Laguna Dulce de Zorilla das *Reserva Natural Complejo Endorreico de Espera* (vgl. **Abb. 8**). Der Lagunenkomplex liegt ca. 15 km nord-nordwestlich der Kommune *Arcos de la Frontera* und

ca. 5 km östlich der Stadt Espera und wird von den Höhenzügen Sierra de Gibalin (westlich) und Sierra del Calvario (östlich) umgeben (vgl. CHG 2005). Das Naturreservat ist seit 1987 staatliches Schutzgebiet und umfasst eine Fläche (*Zona de Protección*) von 3,79 km<sup>2</sup> (379 ha) (Presidencia de la Junta de Andalucía 1987).

### 3.2.2 Klima

Die Wetterstation *Las Cabezas de San Juan „El Algarrobillo“* (100 m ü.d.M.) befindet sich etwa 3 km nördlich der Laguna de Hondilla. **Abb. 9** zeigt die Entwicklung der gemittelten Temperatur und des gemittelten Niederschlags pro Monat auf einer Datengrundlage von 21 Jahren. Im August kommt es zu Höchsttemperaturen von 27°C und im Juli bestehen maximale potentielle Evapotranspirationsraten von 172 mm. Die humide Phase findet durchschnittlich in den Wintermonaten statt mit einem gemittelten Maximum von 99 mm Niederschlag pro Monat im Dezember (CHG 2005b).



Legende: P: Niederschlag (mm/Monat)  
 LI U: Effektiver Regenanteil (mm/Monat)  
 T: Temperatur (°C/Jahr)

**Abb. 9:** Klimadaten der Wetterstation *Las Cabezas de San Juan "El Algarrobillo"* aus (CHG 2005b).

### 3.2.3 Hydrologisches Regime

Die Laguna de Hondilla ist mit einer wasserbedeckten Fläche von 0,026 km<sup>2</sup> (2,6 ha) die kleinste der drei Lagunen des Reserva Natural Complejo Endorreico de Espera. Sie liegt 100 m ü.d.M. und ihr Einzugsgebiet beträgt 0,037 km<sup>2</sup> (37 ha). Ihre Hydroperiode ist saisonal und es handelt sich um ein semipermanent mit Wasser gefülltes Becken. Das Trockenfallen

des Beckens ist jedoch nicht die Regel: Oftmals bleibt ein leichtes Überschwemmungsniveau sogar bis zum Ende des Sommers erhalten und im günstigen Fall von früh einsetzenden Herbstniederschlägen wird das vollständige Austrocknen verhindert (vgl. JA 2005; CHG 2005b; Rodríguez-Rodríguez 2007).

Die Laguna Salada de Zorilla, die südwestlich an die Hondilla anschließt, besitzt die gleiche Höhenlage und Hydroperiode wie Letztere, setzt sich allerdings durch ihre Größe von den anderen beiden Lagunen ab. Ihre wasserbedeckte Fläche beträgt 0,12 km<sup>2</sup> (12 ha) und ihr Einzugsgebiet beträgt 1,2 km<sup>2</sup> (119,7 ha). In humiden Phasen kann sie Wassertiefen von ca. 2 m erreichen. Quer durch die Lagune verlaufen zwei deichartige Barrieren, die sie bei tiefem Wasserstand in drei Becken untergliedern. Diese wurden anthropogen als Schutzzone für Wasservögel angelegt, als dieses Gebiet noch als Jagdrevier benutzt wurde (vgl. JA 2005; CHG 2005b; Rodríguez-Rodríguez 2007).

Zuletzt folgt die Laguna Dulce de Zorilla, die südlichste des Lagunenkomplexes, mit einer Wasserfläche von 0,063 km<sup>2</sup> (6,3 ha) und einem 0,524 km<sup>2</sup> (52,4 ha) großen Einzugsgebiet. In besonders niederschlagsreichen Jahren erreicht sie eine Wassertiefe von bis zu 2,5 m und im Gegensatz zu den anderen Lagunen hat sie einen permanenten Charakter. Sie ist hydrologisch gesehen der am geringsten anthropogen beeinflusste Bereich des Naturreservats, da ihr kein Wasser zu Bewässerungszwecken entnommen wird (vgl. JA 2005; CHG 2005b; Rodríguez-Rodríguez 2007).

Rodríguez-Rodríguez (2007) beschreibt die Laguna de Hondilla als Feuchtgebiet mit impermeablem Untergrund, den Wasser-Input als *epigenic* und den Wasser-Output als Mischung aus Evaporation, Oberflächenausfluss und anthropogener Einwirkung. **Abb. 10** stellt das Wasserregime der Lagune graphisch dar.

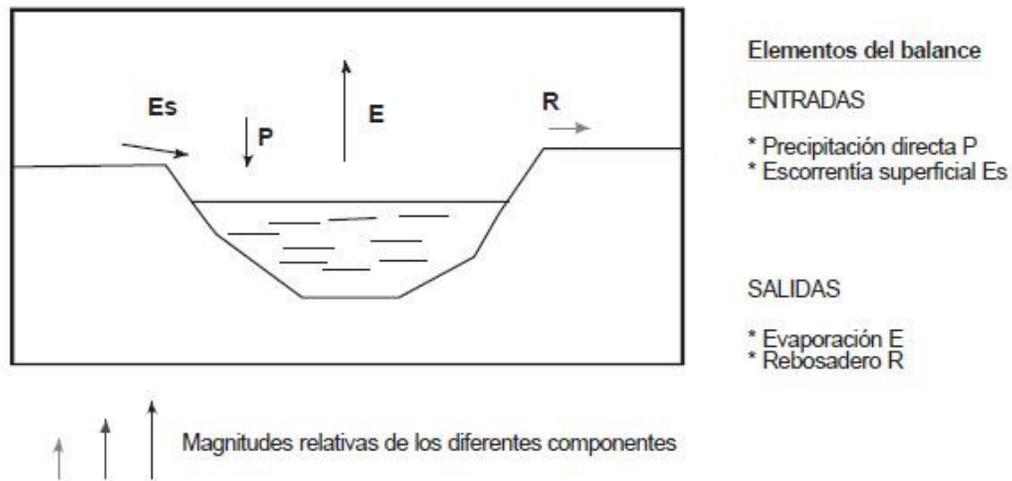


Abb. 10: Wasserbilanz Laguna de Hondilla aus CHG (2005b)

Signifikant ist insbesondere die Komponente „R“ (*Rebosadero*) die auf den saisonalen Überlauf nördlich der Laguna verweist. Die anderen Komponenten sind mit „Es“ (*Escorrentia superficial*) der Oberflächenabfluss in die Laguna, „P“ (*Precipitación directa*) der Niederschlag und „E“ (*Evaporación*) die Evaporation gekennzeichnet (CHG 2005b). Der Hauptfaktor der unausgeglichenen Wasserbilanz ist der oberflächliche Abfluss aus der Laguna (Rodríguez-Rodríguez 2007).

In **Abb. 11** ist die Variabilität des Wasserstands im Vergleich zur Salinität des Wassers der Laguna de Hondilla im Zeitraum 1997-2003 dargestellt. Die Werte schwanken sichtlich um niedrige Werte von 1-2 g/l, können aber auch durch Eindampfungsprozesse in den Sommermonaten 10 g/l übersteigen (JA 2005, p.97). Diese Salinitätswerte sind verglichen mit denen der anderen beiden Becken relativ gering. Die Laguna Salada de Zorilla ist die salzhaltigste mit um 4 g/l schwankende Werte. Durch die große Fläche des Beckens schwankt ihr Wasserstand sehr stark und die Salinität kann in Sommermonaten auf bis zu 25 g/l ansteigen (JA 2005).

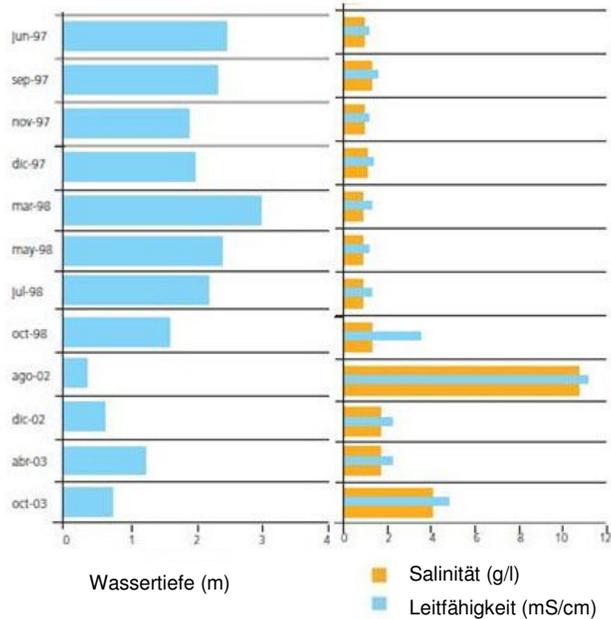


Abb. 11: Entwicklung des Wasserstands und der Salinität der Laguna de Hondilla von Juni 1997 bis Oktober 2003, verändert nach (JA 2005).

Die wichtigsten Oberflächengewässer des Gebiets sind *Arroyo del Salado de Espera* und *Arroyo de las Peñas*. Der Arroyo del Salado de Espera führt am meisten Wasser und mündet in den Rio Guadalete, er liegt jedoch relativ weit von dem in dieser Voruntersuchung betrachteten Gebiet entfernt. Der Arroyo de la Peñas ist ein Nebenfluss des Salado de Espera und entspringt im Westen der Laguna Dulce de Zorilla (CHG 2005b).

### 3.2.4 Geologie

Das Becken Laguna de Hondilla befindet sich in der Externzone des Subbetikums. Gipsmergel, Kalk- und Dolomitstein aus der Trias dominieren, vereinzelt sind mergelige Sandsteine aus dem Oligozän-Miozän anzutreffen (IGME 1975). Die topographischen Depressionen liegen in triassischen Gipsmergel-Sequenzen. Die Kalksteine und Dolomite überlagern die Gipsmergel-Sequenzen und sind mäßig verkarstet (JA 2005). Hydrogeologisch betrachtet, bilden die die Einheiten der triassischen Kalk- und Dolomitsteine den Aquifer und die mergelig-tonigen Sequenzen die Aquitarde (JA 2005; Rodríguez-Rodríguez 2007).

### 3.3 Laguna del Pilón

#### 3.3.1 Geografische Einordnung

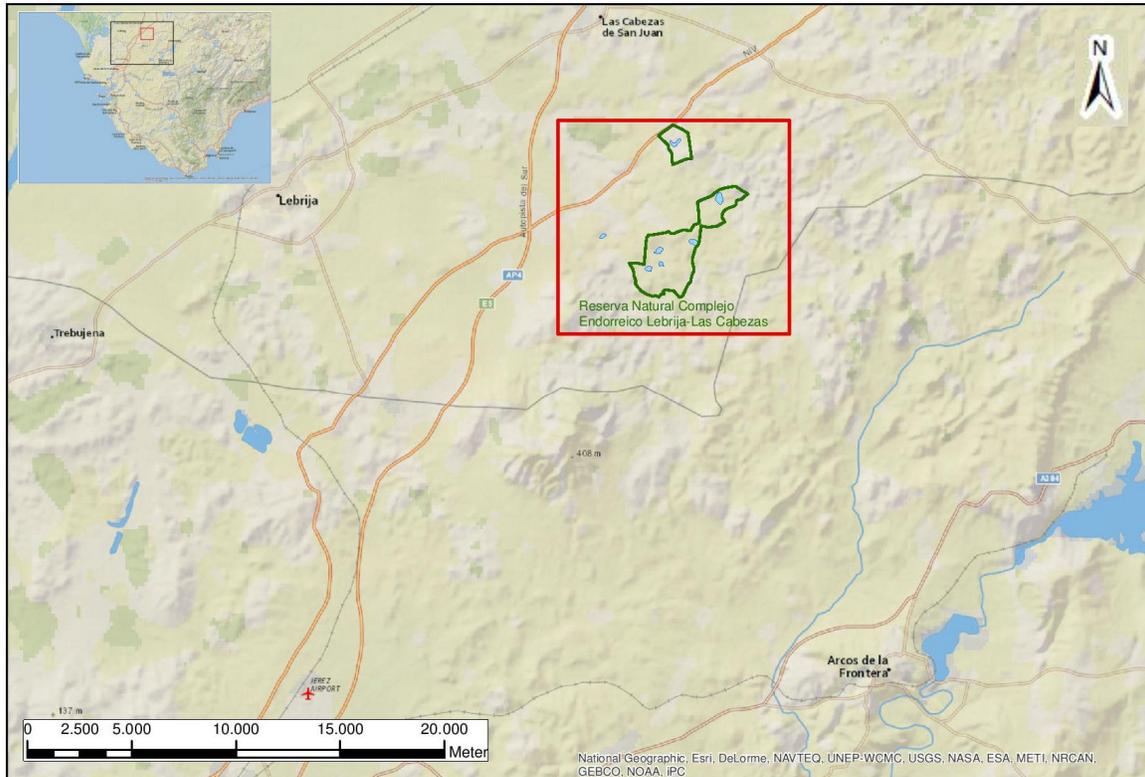


Abb. 12: Von N nach S: Laguna de Charroae, del Taraje, del Pilón, de la Peña, de la Galiana und de la Cigarrera mit zugehörigem Reserva Natural Complejo Endorreico Lebrija-Las Cabezas.

Die Laguna del Pilón ist eines von sechs Salzbecken, das zu dem *Reserva Natural Complejo Endorreico Lebrija-Las Cabezas* gehört. Sie liegt in der Provinz Sevilla und gehört zu dem Gemeindebezirk Lebrija. Wie auf **Abb. 12** ersichtlich, liegt die Stadt Lebrija ca. 20 km westlich, Las Cabezas de San Juan ca. 10 km NNW und Arcos de la Frontera ca. 20 km SSE von der Laguna del Pilón entfernt. Direkt östlich neben der Lagune verläuft die Schnellstraße SE-6201. Das oben genannte Naturreiservat ist seit 1989 staatliches Schutzgebiet mit einer geschützten Fläche (*Zona de Protección*) von 7,8 km<sup>2</sup> (780 ha) und beinhaltet die folgenden endorheischen Becken (Presidencia de la Junta de Andalucía 1989):

- *Laguna del Pilón*
- *Laguna de Galiana*
- *Laguna de la Peña*
- *Laguna del Taraje*
- *Laguna de la Cigarrera*
- *Laguna de Charroao.*

Die Laguna de Vocesa kann als siebte zu dem Lagunenkomplex hinzugezählt werden, ist jedoch gesetzlich nicht in die Naturschutzzone eingegliedert (CHG 2005a).

Das Hauptgewässer des Gebiets ist der *Arroyo Salado de Las Cabezas*. Untergeordnete Flüsse sind der *Arroyo Salado de Lebrija* und der *Arroyo del Mascardo* (CHG 2005a).

### 3.3.2 Klima

Zur Erläuterung des Klimas wird hier auf den Unterpunkt „3.2.2 Klima“ der Laguna de Hondilla verwiesen (siehe Abb. 9), da die beiden endorheischen Becken Laguna de Hondilla und Pilón in unmittelbarer Nähe zueinander liegen. Die Wetterstation *Las Cabezas de San Juan „El Algarrobilllo“* (100 m ü.d.M.) (CHG 2005a) befindet sich etwa 3 km östlich der Laguna del Pilón.

### 3.3.3 Hydrologisches Regime

Die Größenordnung der Laguna del Pilón ist nicht eindeutig beschrieben. Die Junta de Andalucía (2005) wie auch Rodríguez-Rodríguez (2007) benennen eine mit wasserbedeckte Fläche von 0,05 km<sup>2</sup> (5 ha), der CHG-Report (2005a) dagegen eine Fläche von 0,08 km<sup>2</sup> (8 ha). Die Beckenausdehnung wird mit einer Fläche zwischen 1 km<sup>2</sup> (104,48 ha) (JA 2005) und 0,7 km<sup>2</sup> (69,3 ha) (CHG 2005a) angegeben.

Rodríguez-Rodríguez (2007) beschreibt die Laguna del Pilón als Feuchtgebiet mit impermeablem Untergrund, den Wasser-Input als *epigenic* und den Wasser-Output als Mischung aus Evaporation, Infiltrationsprozessen (*groundwater recharge*) und anthropogener Einwirkung.

Die Laguna del Pilón befindet sich 72,5 m ü.d.M. und liegt höher als die anderen fünf Lagunen des Naturreservats (CHG 2005a). Die maximale Tiefe des Beckens beträgt 1,25 m und ihre Hydroperiode ist saisonal (Rodríguez-Rodríguez 2007). Handelt es sich um eine relativ humide Periode bis zum Ende des Sommers und setzen die Herbstniederschläge früh genug ein, so kommt es nicht zu einer vollständigen Austrocknung. In diesem Fall teilt sich das seichte Wasser in kleinere Wasseransammlungen auf. Die Wasserstände korrelieren mit der Salinität der Lagune: Sinkt der Wasserstand durch Evaporation, so steigt der Salzgehalt des Wassers. Ist aber viel Wasservolumen vorhanden, so ist die Salinität gering. Der Salzgehalt der Lagune dieses schwankt zwischen 0,3 – 3,2 g/l, vergleichbar mit den meisten Becken dieses Naturreservats (JA 2005).

Die wichtigsten Oberflächengewässer des Gebiets sind der *Arroyo Salado de Las Cabezas* und untergeordnet die Bäche *Arroyo Salado de Lebrija* und *Arroyo del Mascardo* (CHG 2005a).

Anthropogen wird das Gebiet durch Abflüsse der Schnellstraße SE-6201, die den östlichen Rand des Einzugsgebiets durchquert, beeinflusst. Desweiteren wird das recht flache Gebiet des Beckens als Rastplatz für Rinder und Pferde genutzt (CHG 2005a).

### **3.3.4 Geologie**

Die Lagune del Pilón ist in der Kontaktzone des Guadalquivirbeckens und der Externzone der Betischen Kordillere situiert. Triassische Sedimente dominieren, darunter Mergel-Gips-Sequenzen, Sandsteine und Salzablagerungen. Dazwischen treten vereinzelt Kalkstein- und dolomitische Kalksteinablagerungen auf (IGME 1975; JA 2005). Die Lagune hat morphologisch gesehen eine ovale Form und ist NW-SE ausgerichtet. Sie ist von hügeligem Land umgeben, südlich ist das Relief durch einschneidende Flüsse besonders ausgeprägt (JA 2005).

### 3.4 Übersicht Laguna de Medina, Laguna de Hondilla und Laguna del Pilón

Die drei Salzseen Laguna de Medina, Laguna de Hondilla und Laguna del Pilón weisen ähnliche Charakteristika auf und grenzen sich von der vierten noch ausstehenden Laguna de la Janda ab. In **Tabelle 3** sind die Eigenschaften der drei ersten Lagunen aufgelistet und ermöglicht einen zusammenfassenden Überblick ihrer bereits erläuterten hydrologischen Eigenschaften.

**Tabelle 3: Zusammenfassende Übersicht der signifikanten Eigenschaften der Laguna de Medina, Laguna de Hondilla und Laguna del Pilón.**

	Laguna de Medina	Laguna Hondilla	Laguna del Pilón
<b>Provinz</b>	Cadiz	Cadiz	Sevilla
<b>Kommune</b>	Jerez de la Frontera	Espera	Lebrija
<b>Koordinaten</b>	29S: UTMX : 0763900 UTMY : 4056902	30S: UTMX 0245061 UTMY 4084676	30S: UTMX 0241783 UTMY 4088275
<b>Wasserfläche</b>	120,1 ha	2,6 ha	5,0 ha
<b>Einzugsgebiet</b>	1888,76 ha	37 ha	69,3 ha
<b>Höhenlage</b>	30 m ü.d.M.	100 m ü.d.M.	72,5 m ü.d.M.
<b>Maximale Wassertiefe</b>	3,5 m	3 m	1,25 m
<b>Durchschn. Salinität</b>	1,5-3 g/l	1-2 g/l	0,3 – 3,2 g/l
<b>Hydroperiode</b>	semipermanent	saisonal	saisonal
<b>Typ nach Rodriguez-Rodriguez (2007)</b>	Feuchtgebiet mit permeablem Untergrund	Feuchtgebiet mit impermeablem Untergrund	Feuchtgebiet mit impermeablem Untergrund
<b>Hydrogeologie gebunden an</b>	Dolinen (Gipskarst)	Tone und Mergel	Tone und Mergel, alluviales Milieu
<b>Wasser-Input</b>	<i>epigenic</i>	<i>epigenic</i>	<i>epigenic</i>
<b>Wasser-Output</b>	gemischt	gemischt	gemischt
<b>Humaner Einfluss</b>	Wasserentnahme zu Bewässerungszwecken	Wasserentnahme zu Bewässerungszwecken	Straßenabfluss
<b>Diskontinuität</b>	Infiltration ( <i>groundwater recharge</i> )	Oberflächenabfluss	Infiltration ( <i>groundwater recharge</i> )

## 3.5 Laguna de la Janda

### 3.5.1 Geografische Einordnung

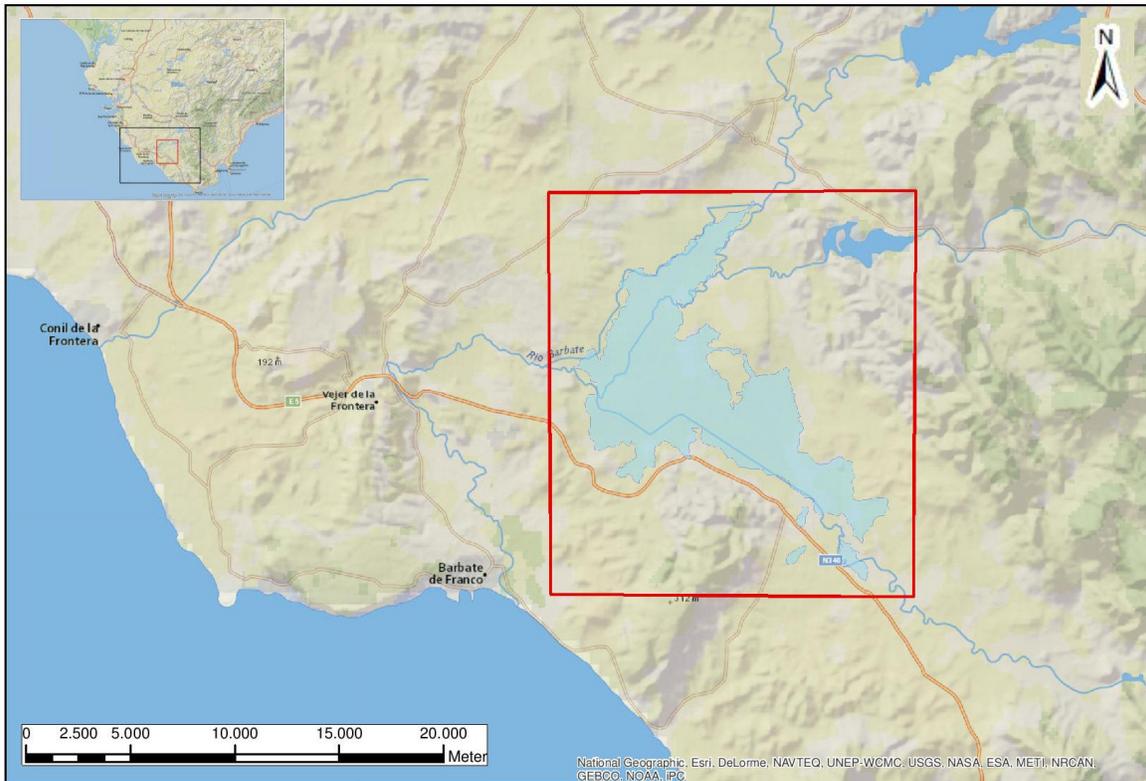


Abb. 13: Ehemalige Ausdehnung der Laguna de la Janda, Vorlage aus dem Jahr 1868 nach Francisco Coello und D. Pascual Madóz (El Blog de la Laguna de la Janda 13.05.2013).

Das Feuchtgebiet Janda ist mit einer Beckengröße von 35 km<sup>2</sup> eines der größten der Provinz von Cádiz (Luque et al. 2001) und nach Montes & Martino (1987, zit. n. Kortekaas & Vaya 2009) der südlichste (ehemalige) Salzsee in ganz Europa. Es liegt ca. 20 km von der Küste und 10 km von der Stadt *Vejer de la Frontera* entfernt. Die beiden Stauseen *Embalse de Celemín* und *Embalse de Barbate* befinden sich jeweils ca. 10 und 20 km nordöstlich der betrachteten Region. In **Abb. 13** ist die wohl ehemals maximale Ausdehnung der Laguna de la Janda ersichtlich, nach einer Kartenvorlage aus dem Jahr 1868.

### 3.5.2 Hydrologisches Regime

Das Feuchtgebiet der ehemaligen Laguna de la Janda liegt in einem tektonisch geformten Graben, der seit den 1960er Jahren durch die künstliche Verlegung der Flussläufe des *Río Barbate* und *Río Almodóvar* trocken gelegt ist (Luque et al. 1999; Román & Espejo 2007). Diese Maßnahme entstand aus agronomischen Ansprüchen und das Gebiet wird zurzeit als landwirtschaftliche Zone genutzt (Luque et al. 1999; Luque et al. 2001).

Das Feuchtgebiet befindet sich 3,5-4 m ü.d.M. und vor seiner Austrocknung teilte es sich in die Seen und Naturzonen *Janda*, *Jandilla*, *El Torero*, *Tapatana*, *Tapatanilla*, *Rehuelga* und *Espartinas* auf. Die Wasserfläche des gesamten Überflutungsbereichs erreichte in Höchstzeiten bis zu 40 km<sup>2</sup> (4000 ha) (Román & Espejo 2007).

Laut Román & Espejo (2007) kommt es trotz Entwässerungsmaßnahmen weiterhin zu Überflutungen weiter Teile des Seebodens mit Wasserständen bis zu 1 m und teilweise auch zur Wiederherstellung des ehemaligen Naturmilieus. Einzelne Starkregenereignisse sowie Hochwasserstände der beiden Flüsse können zudem zur Überschwemmung weiter Flächen führen (Luque et al. 2001). So führten beispielsweise die Winterniederschläge der Jahre 1989-1990 und 1995-1996 zu einer solch massiven Überflutung des Gebiets. Der Abfluss des Grabens erfolgt entlang des natürlichen Flussbetts des Río Barbate, entlang eines schmalen Tals nahe Vejer de la Frontera bis zur Einmündung in das Meer bei der gleichnamigen Stadt Barbate (Luque et al. 1999; 2001). Mit Beginn der Trockenlegung der Laguna de la Janda, wurden und werden verschiedene Nebenflüsse des Río Barbate in Stauseen aufgestaut, u.a. durch die Staudämme Celemín und Almodóvar seit 1962 und den Stausee Barbate seit 1995 mit einer Kapazität von ca. 300 Mio. m<sup>3</sup>. Diese hydrologischen Maßnahmen dienen dem Erhalt des künstlich ausgetrockneten Zustands des Grabens (Analajanda 26.08.2013).

### 3.5.3 Klima

Da sich die ehemalige Laguna de la Janda über eine sehr weite Fläche erstreckt, ist das Klima der Region nicht detaillierter durch einzelne Wetterstationen beschreibbar. Generell schwanken die Jahrestemperaturen zwischen 7°C (Minimum im Januar) und 32°C (Maximum im August), mit einem Jahresmittel von 17-19°C. Der Jahresdurchschnittsniederschlag beträgt 800 mm, die maximalen Niederschläge ereignen sich in den Monaten November bis März (Román & Espejo 2007; Analajanda 26.08.2013).

### 3.5.4 Geologie

Der abgesenkte Bereich des Janda-Grabens ist in der Flyschzone des Campo de Gibraltar situiert und das Grundgestein setzt sich aus allochthonen Einheiten des Campo de Gibraltar und detritischen postrogenen Einheiten des oberen Miozän bis Quartär zusammen (Luque et al. 2001). Die Lagunensedimente, die die oberflächige holozäne Füllung des Beckens ausmachen, bestehen aus Ton-, Silt- und feinem Sandstein. Das umliegende Substrat reicht von den Almarchal-Einheiten der Oberen Kreide und unterem Paläogen über *Tubotomaculum*-Tonsteine bis zu Aljibe-Sandsteinen sowie Biokalkarenite und Sandsteine aus dem Miozän bis Pliozän. Quartäre Einheiten treten in Form von fluvialen Terrassen und alluvialen bzw. kolluvialen Sequenzen auf (IGME 1983a; IGME 1983b; Luque et al. 2001).

## 4 Methoden

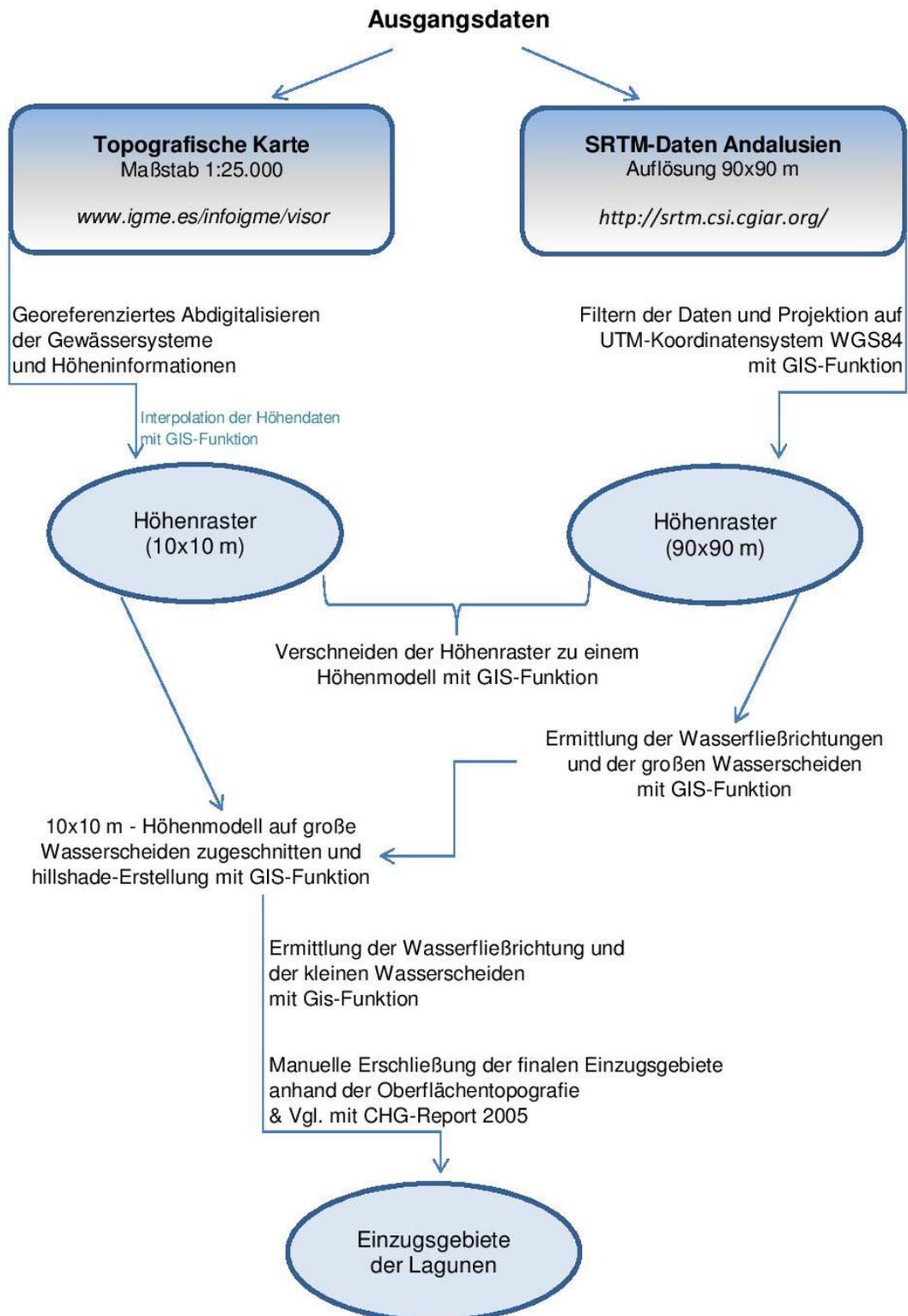
### 4.1 GIS - Anwendung

GIS (*Geographic Information System*) dient der kompakten Visualisierung, Verwaltung und Analyse von geographisch referenzierten Daten und Informationen (ESRI 24.08.2013). Zur Erschließung der bereits vorgestellten Untersuchungsregionen wurde ArcGIS der amerikanischen ESRI Inc. verwendet. Das Hauptelement der Datengrundlage stellt die Oberflächentopografie des Geländes dar. Anhand dieser können unter Einbezug von geomorphologischen und tektonischen Komponenten die zu untersuchenden Regionen (Lage der Lagunen, Einzugsgebiet etc.) eingegrenzt und visualisiert werden.

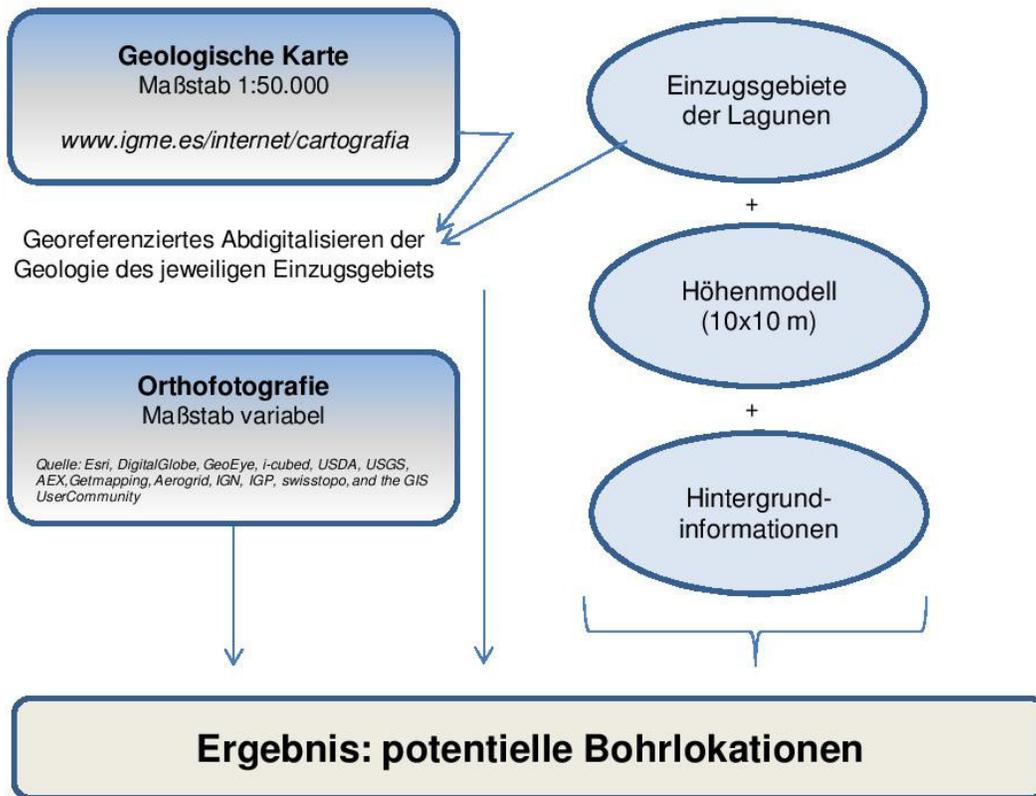
Die Topografie der Untersuchungsregionen, sowie der Verlauf der Gewässersysteme wurde anhand von topografischen Karten des *Instituto Geológico y Minero de España* (IGME 20.05.2013) im Maßstab 1:25.000 digitalisiert. Diese Daten wurden zu einem Höhenmodell der Zellgröße 10x10 m interpoliert und Höhengleichen wurden zur besseren Visualisierung erstellt. Desweiteren konnten SRTM-Daten (*Shuttle Radar Topography Mission*) mit einer Zellauflösung von 90x90 m für den Bereich Andalusiens eingeladen (CGIAR-CSI 29.05.2013) und bearbeitet werden, wurden jedoch für eine weitere Verwendung als Höhenmodell wegen ihrer geringen Auflösung verworfen und nur noch als Hintergrundinformation verwertet. Die Ausarbeitungen der Fließrichtung, Wasserscheiden und Einzugsgebiete jedes Beckens fanden auf der Basis von GIS-Funktionen statt, wurden jedoch manuell überarbeitet und verfeinert. Letztlich wurden die Einzugsgebiete mit den Flächenangaben der Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG 2005b; CHG 2005a) verglichen und abgestimmt. Die Zuschneidung des Höhenmodells samt dem enthaltenen hydrologischen Regime auf die finalen Einzugsgebiete dient einer detaillierteren Visualisierung der jeweiligen endorheischen Becken.

Abschließend wurden alle Kriterien zur Datenverarbeitung einbezogen, darunter die Geologie und weitere Hintergrundinformationen, wie beispielsweise schon stattgefundene Bohrarbeiten in der Umgebung des Beckens. Die Geologie der finalen Einzugsgebiete der Lagunen wurde anhand von geologischen Karten im Maßstab 1:50.000 digitalisiert (vgl. IGME 1975; IGME 1983a; IGME 1983b; IGME 1984). Zudem wurden Orthofotografien der einzelnen Salzseen zu Rate gezogen, um ein genaueres Bild der Umgebung und eventuell vorhandene anthropogene Einflüsse wie Straßenbau oder Bewässerungsanlagen zu ermitteln.

## 4.2 Workflow



## Datenverarbeitung



## **5 Resultate**

### **5.1 Übersichtskarte der Lagunas**

### **5.2 Laguna de Medina**

#### **5.2.1 Orthofoto**

#### **5.2.2 Höhenmodell des oberirdischen Einzugsgebiets**

#### **5.2.3 Geologische Karte**

### **5.3 Laguna de Hondilla**

#### **5.3.1 Orthofoto**

#### **5.3.2 Höhenmodell des oberirdischen Einzugsgebiet**

#### **5.3.3 Geologische Karte**

### **5.4 Laguna del Pilón**

#### **5.4.1 Orthofoto**

#### **5.4.2 Höhenmodell des oberirdischen Einzugsgebiet**

#### **5.4.3 Geologische Karte**

### **5.5 Laguna de la Janda<sup>3</sup>**

#### **5.5.1 Orthofoto**

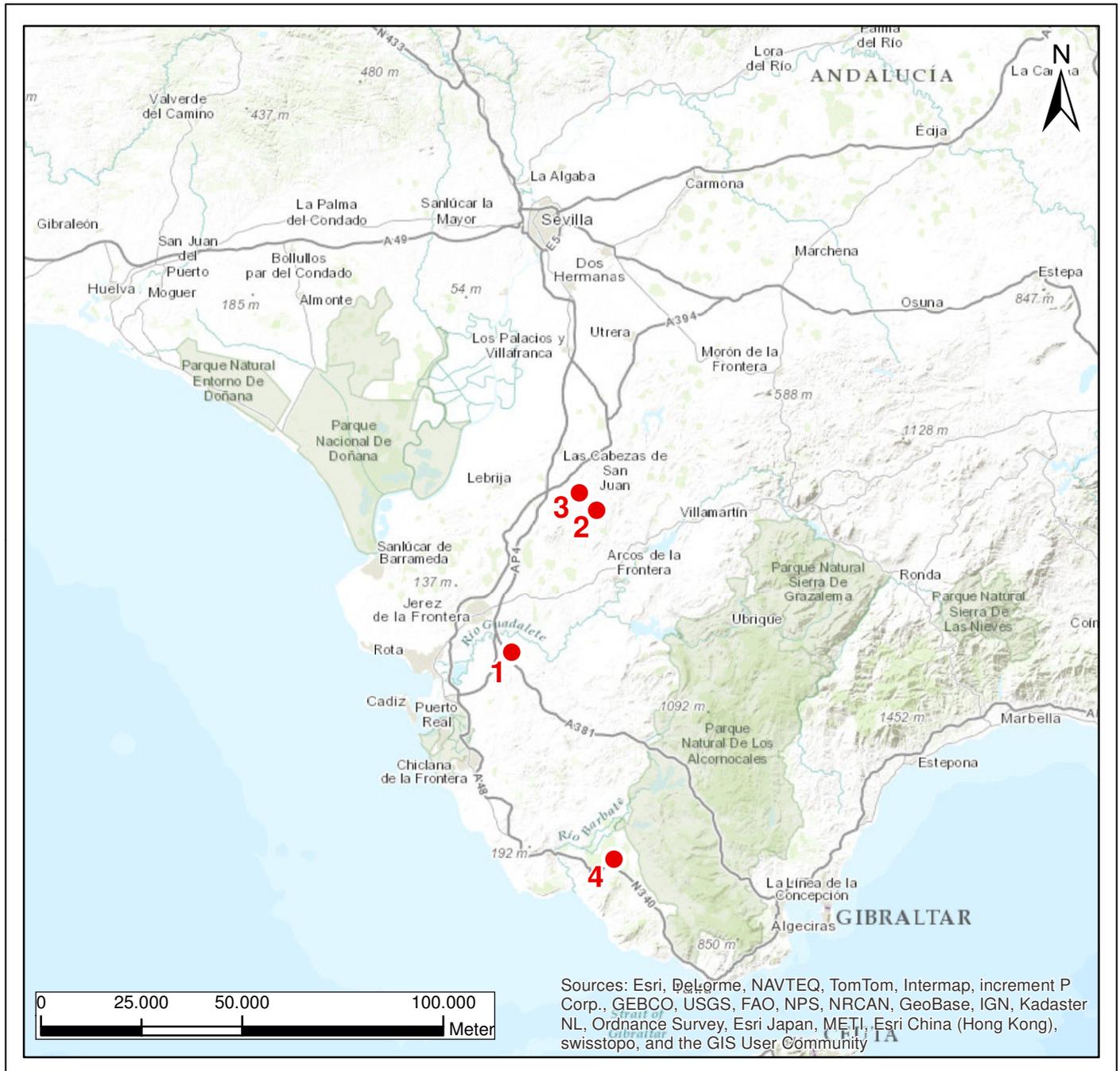
#### **5.5.2 Höhenmodell**

#### **5.5.3 Geologische Karte**

---

<sup>3</sup> Vorlage Lagunen-Umriss aus 1868 nach Coello & Madóz (El Blog de la Laguna de la Janda, aufgerufen am 13.05.2013) und aus 1955 nach Instituto Geográfica Nacional España (El Blog de la Laguna de la Janda, aufgerufen am 13.05.2013)

# Übersichtslagekarte der Lagunas



## Legende

- Lagepunkte
- 1** Laguna de Medina
- 2** Laguna de Hondilla
- 3** Laguna del Pílon
- 4** Laguna de la Janda

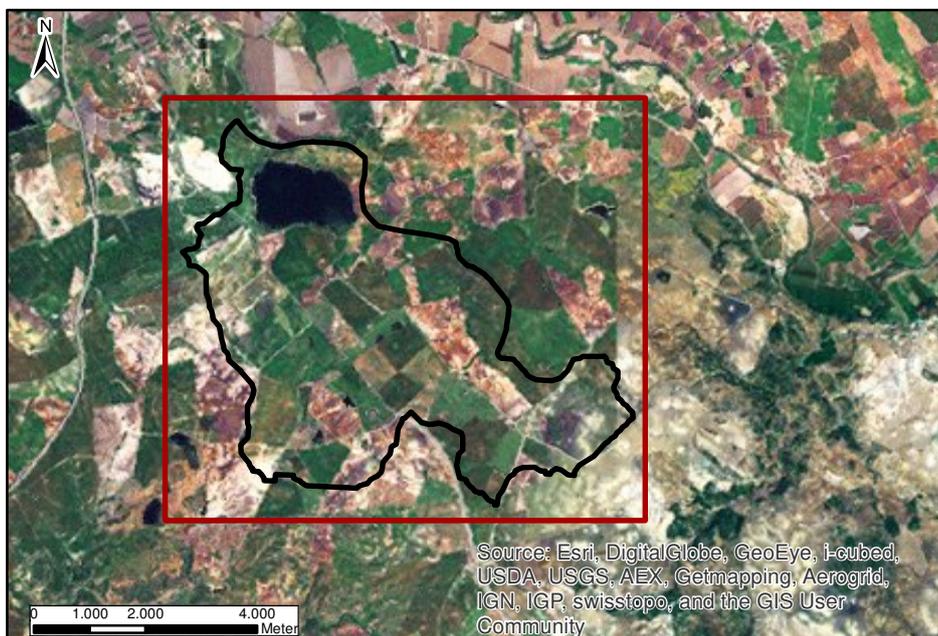
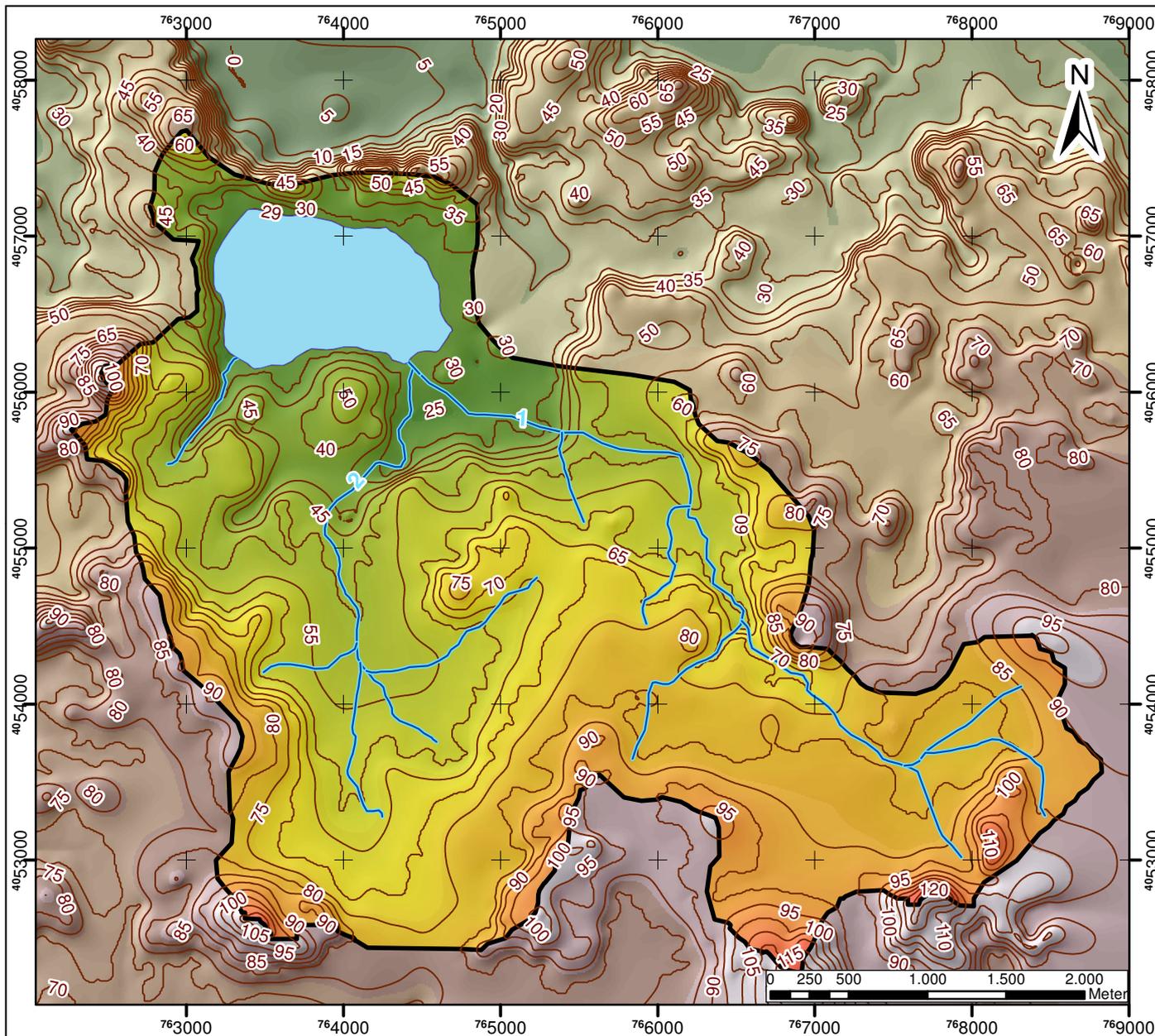
Maßstab 1:1.500.000

# Orthofoto



<b>Legende</b>
Orthofoto vom 19.06.2011
<b>Maßstab 1:20.000</b>

# Höhenmodell des oberirdischen Einzugsgebiets



### Legende

**Flächen**

- Laguna de Medina
- Oberirdisches Einzugsgebiet Laguna de Medina

**Höhenmodell [m]**

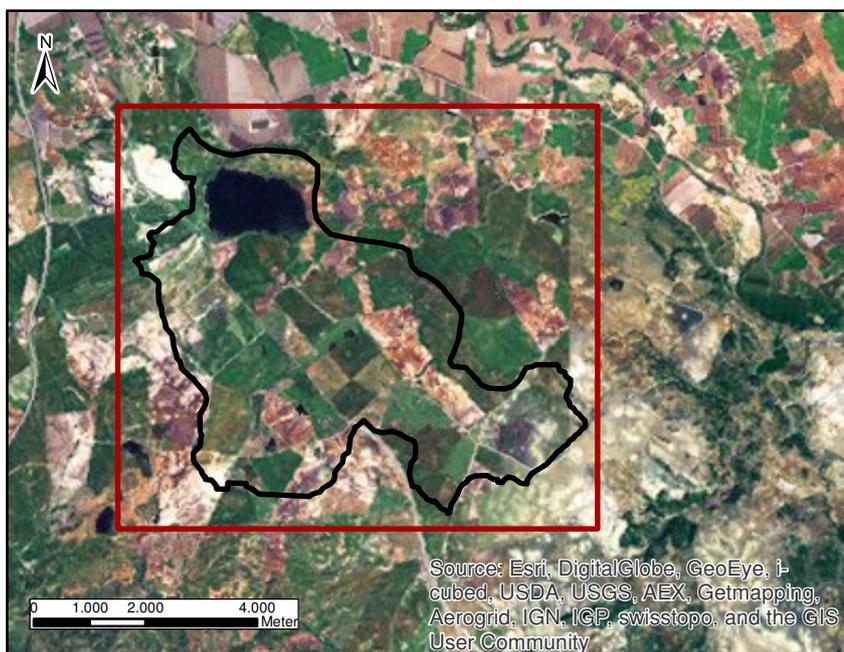
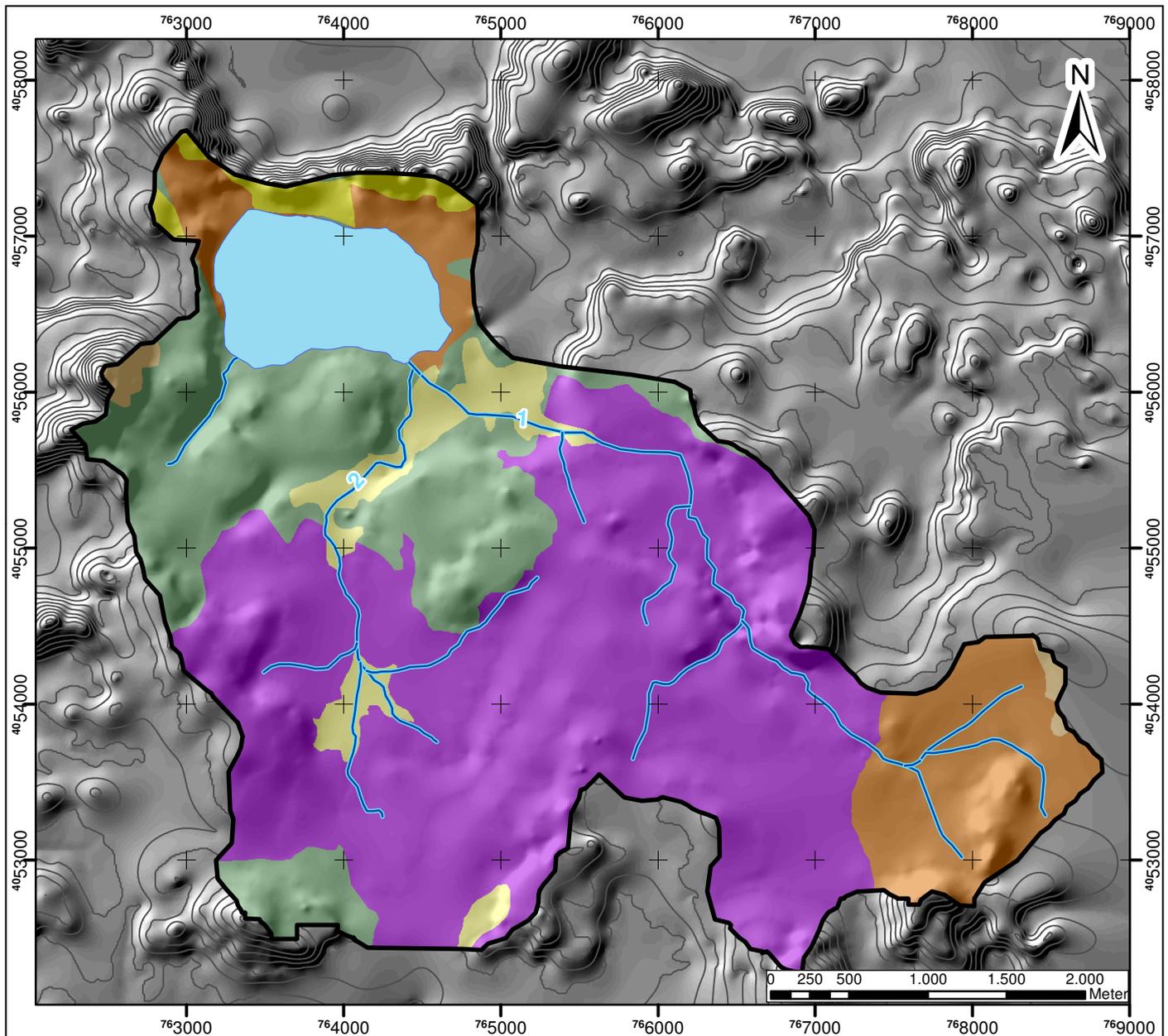
- Hoch : 124,2
- Tief : 21,8
- Höhenlinie 5 m
- 25 Höhenangabe in m

**Gewässerläufe**

- 1 Arroyo de Fuente Bermeja
- 2 Arroyo de la Martellilla

**Maßstab 1:40.000**

# Geologie des oberirdischen Einzugsgebiets



## Legende

### Quartär

- Alluvial (Holozän)
- Flussterassen (Pleistozän)

### Geologie

#### Paläogen - Neogen

- Lakustrine Kalksteine (Pliozän)
- Ton, Mergel, Kalkarenite (Eozän-Miozän)
- "Capas rojas", Mergel (OKreide - UPaläogen)

#### Trias

- Ton, Buntsandstein, Dolomit und gipsreiche Evaporite

- Höhenlinie 5 m
- Laguna de Medina
- Oberirdisches Einzugsgebiet Laguna de Medina
- Gewässerläufe

- 1 Arroyo de Fuente Bermeja
- 2 Arroyo de la Martelilla

Maßstab 1:40.000

**Orthofoto**



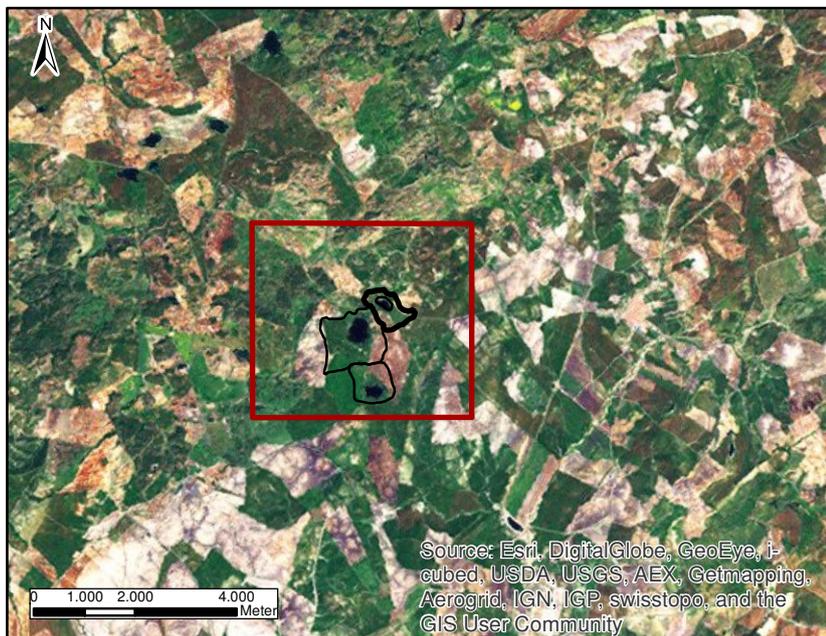
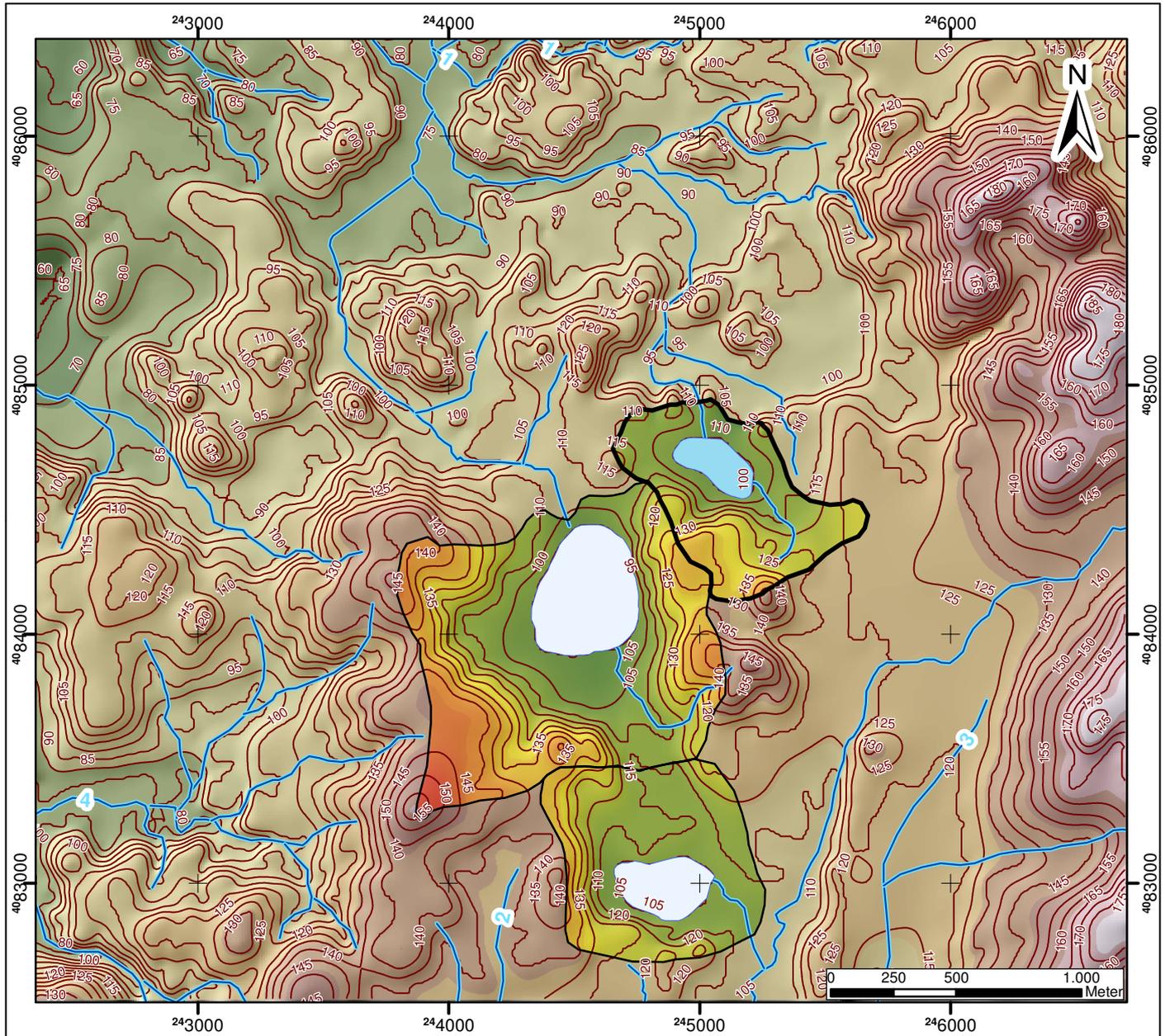
**Legende**

Orthofoto vom 19.06.2011

 **Bohrpunkt März 2013**  
 Koordinaten (UTM 30S): 0244915  
 4084612

**Maßstab 1:5.000**

# Höhenmodell des oberirdischen Einzugsgebiets



Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community

## Legende

### Flächen

Hondilla



Laguna

Reserva Natural



Oberirdisches Einzugsgebiet



### Höhenmodell [m]

Hoch : 157,2

Tief : 100,0

Höhenlinie 5 m

25 Höhenangabe in m

Gewässersläufe

1 Arroyo del Saguazal

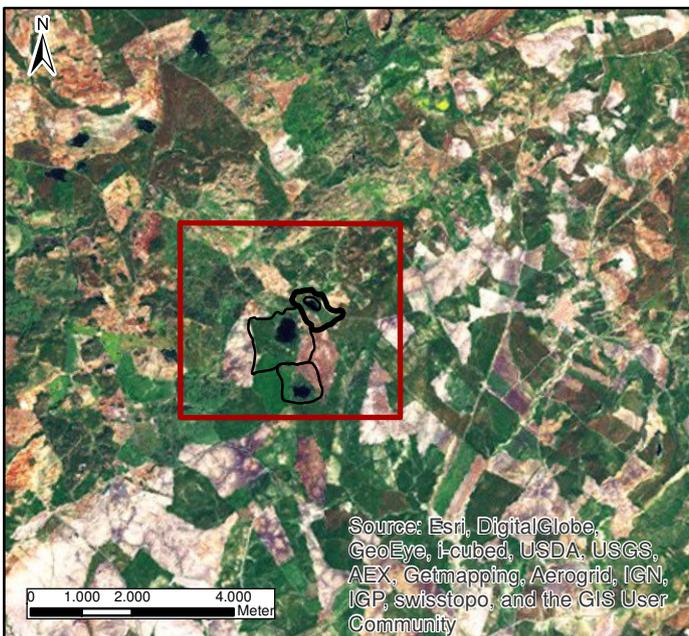
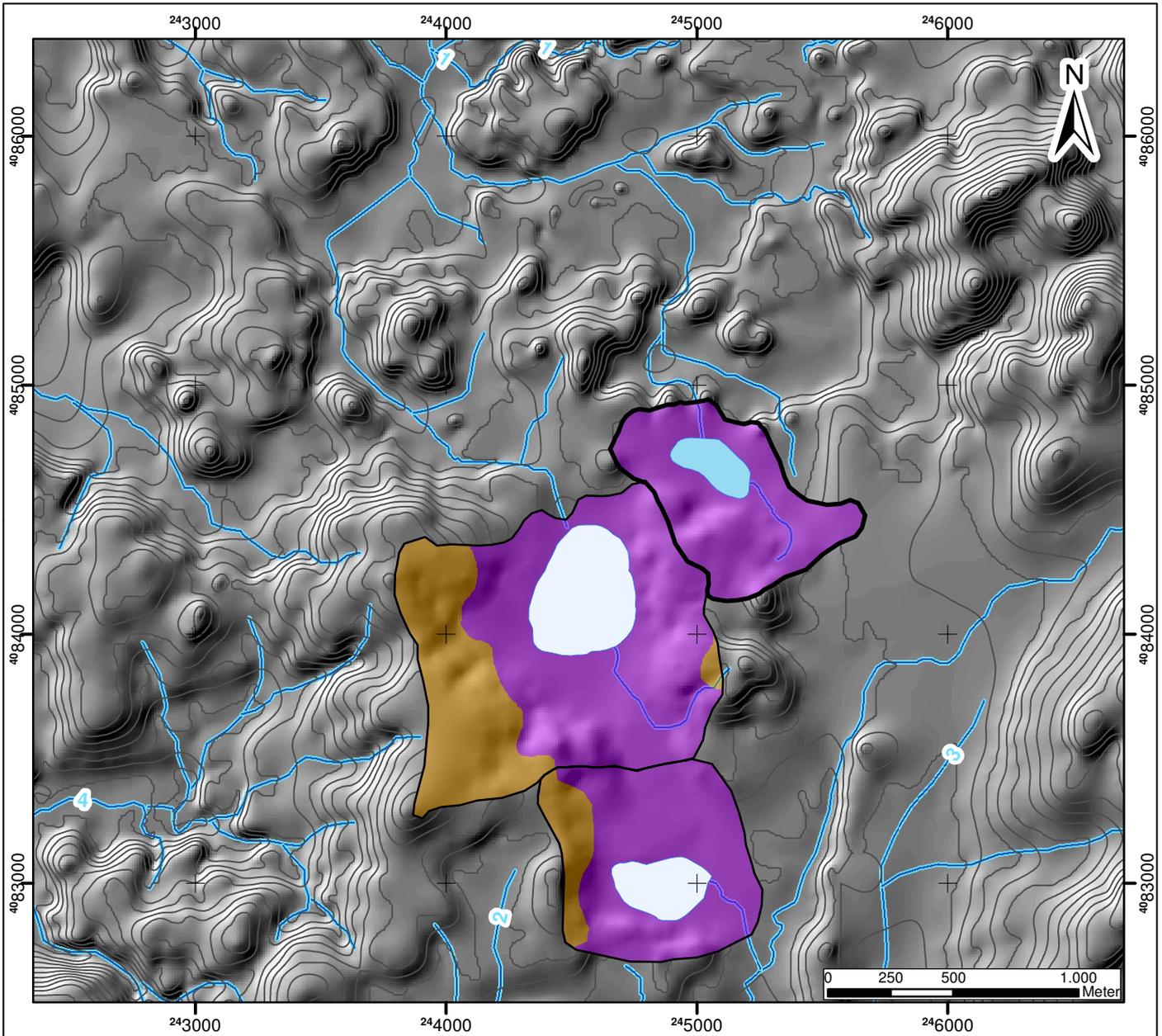
2 Arroyo de las Peñas

3 Arroyo de la Calera

4 Arroyo de Mojón Blanco

Maßstab 1:25.000

# Geologie des oberirdischen Einzugsgebiets

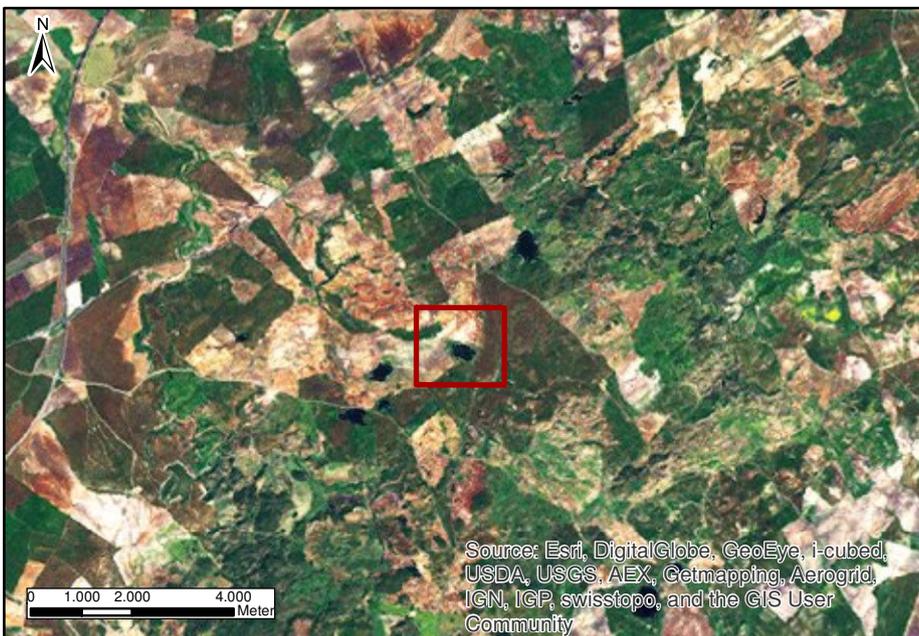
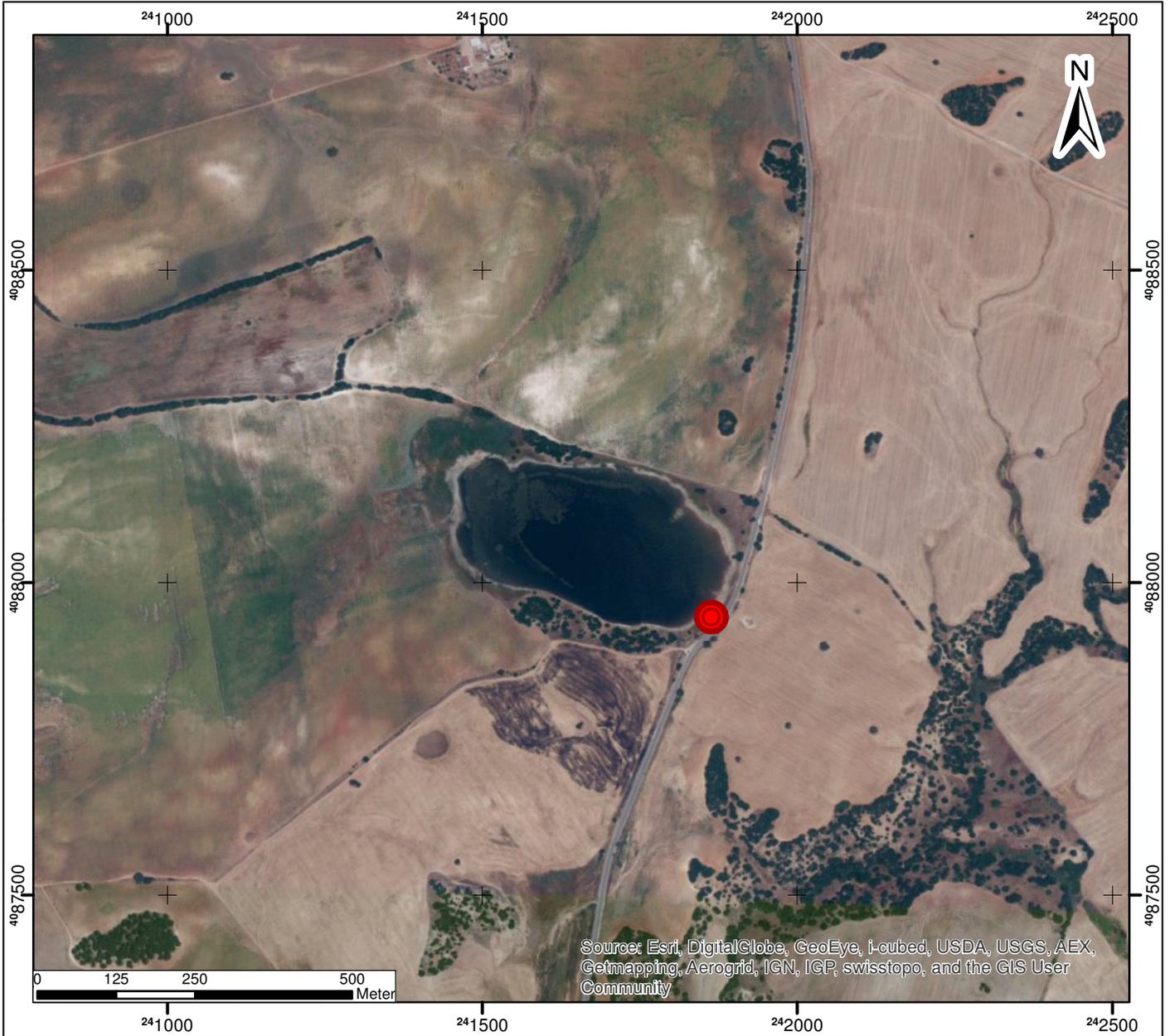


## Legende

- |   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Geologie</b>   |  Paläogen - Neogen<br>Mergel- und Sandstein (Miozän)                   |   |
|   |  Trias<br>Ton, Buntsandstein, Mergel, Dolomit und gipsreiche Evaporite |   |
|   |  Höhenlinie 5 m  |   |
| <b>Hondilla</b>   |  Laguna  | <b>Reserva Natural</b>  |
|  Oberirdisches Einzugsgebiet |   |  |
|  Gewässerläufe                 |   |   |
| <b>1</b> Arroyo del Saguzal   |   |   |
| <b>2</b> Arroyo de las Peñas  |   |   |
| <b>3</b> Arroyo de la Calera  |   |   |
| <b>4</b> Arroyo de Mojón Blanco   |   |   |

Maßstab 1:25.000

**Orthofoto**



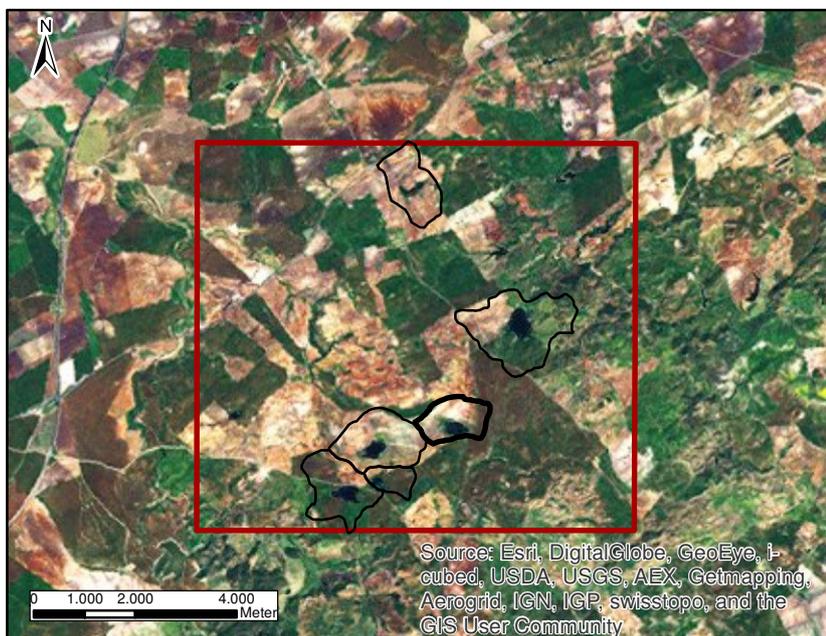
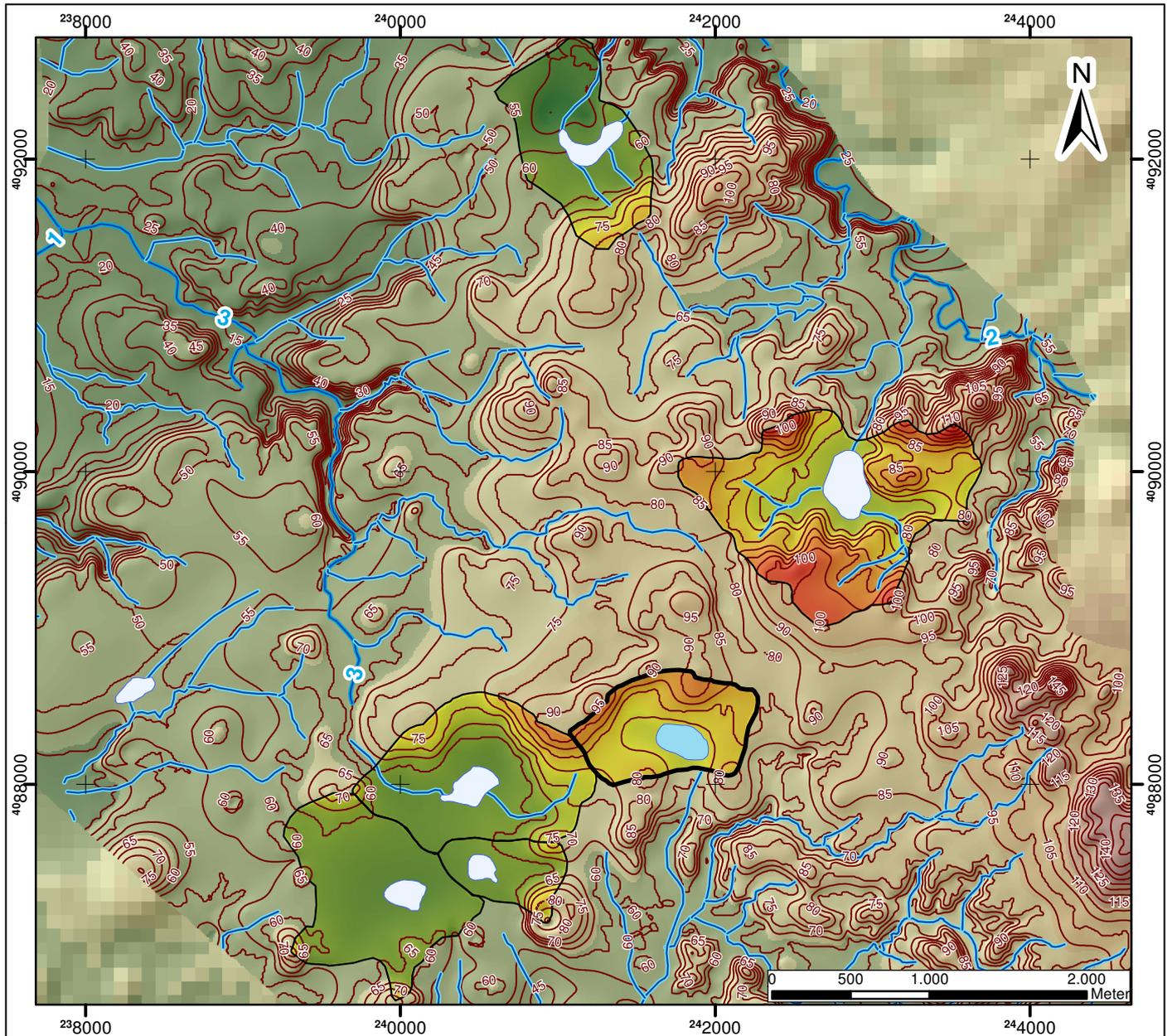
**Legende**

Orthofoto vom 27.06.2011

 **Bohrpunkt März 2013**  
 Koordinaten (UTM 30S): 0241863  
 4087945

**Maßstab 1:10.000**

# Höhenmodell des oberirdischen Einzugsgebiets



## Legende

**Flächen**

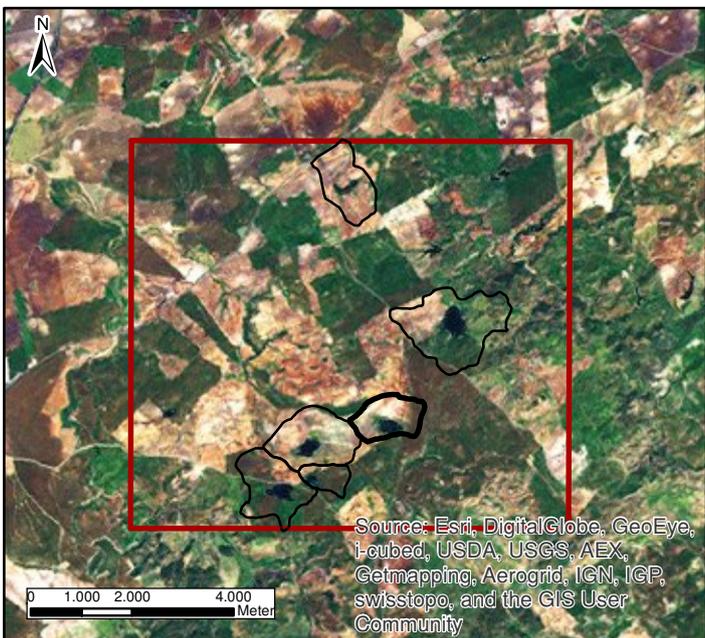
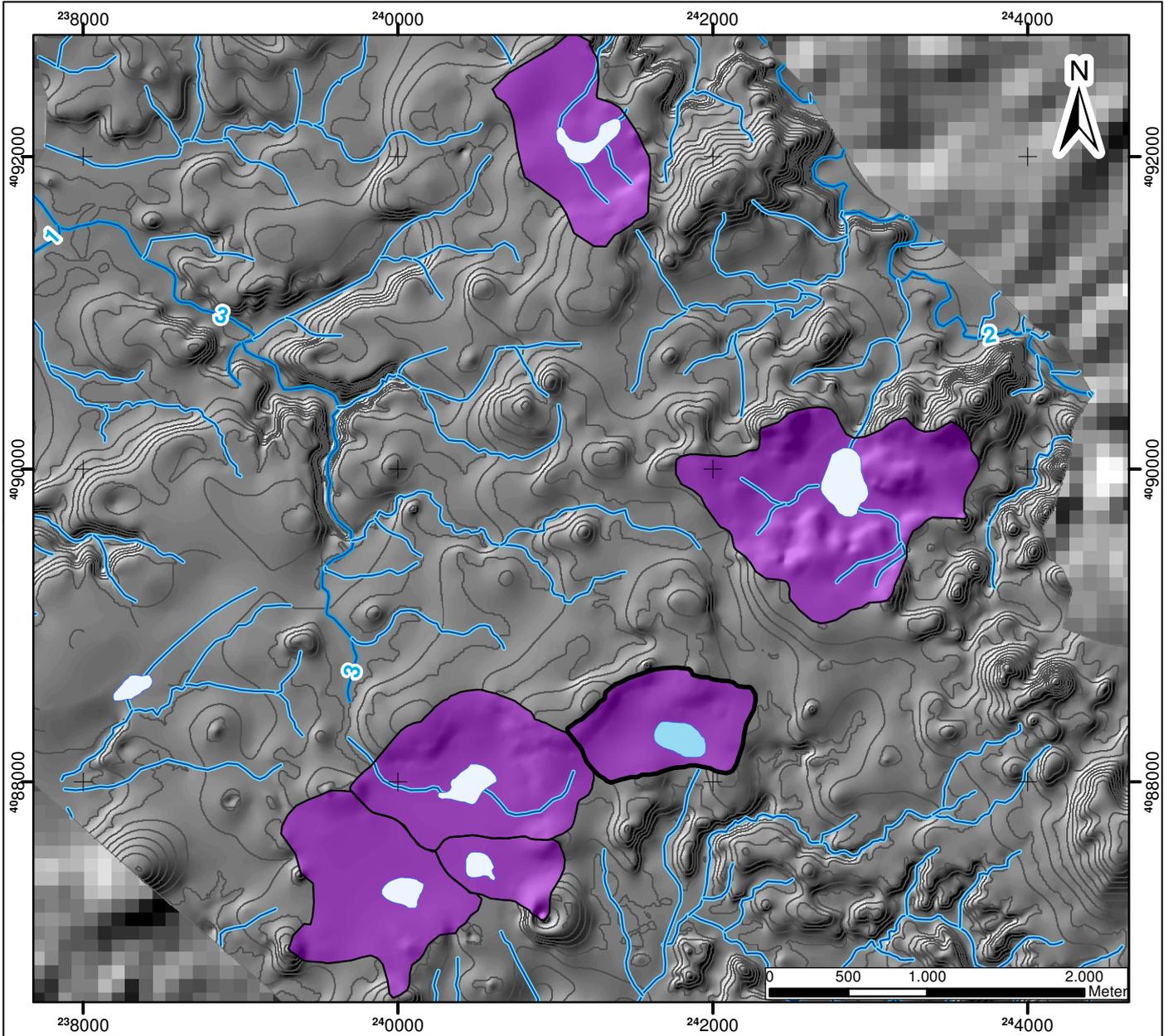
- Pílon
- Laguna
- Oberirdisches Einzugsgebiet
- Reserva Natural

**Höhenmodell [m]**

- Hoch : 116,4
- Tief : 45,0
- Höhenlinie 5 m
- Höhenangabe in m
- Gewässerläufe
- 1 Arroyo Salado de Lebrija
- 2 Arroyo Salado de la Cabezas
- 3 Arroyo del Mascardo

**Maßstab 1:40.000**

# Geologie des oberirdischen Einzugsgebiets



## Legende

**Geologie**

- Ton, Buntsandstein, Mergel, Dolomit und gipsreiche Evaporite (Trias)

**Pílon**

- Laguna
- Oberirdisches Einzugsgebiet
- Höhenlinie 5 m
- Gewässerläufe

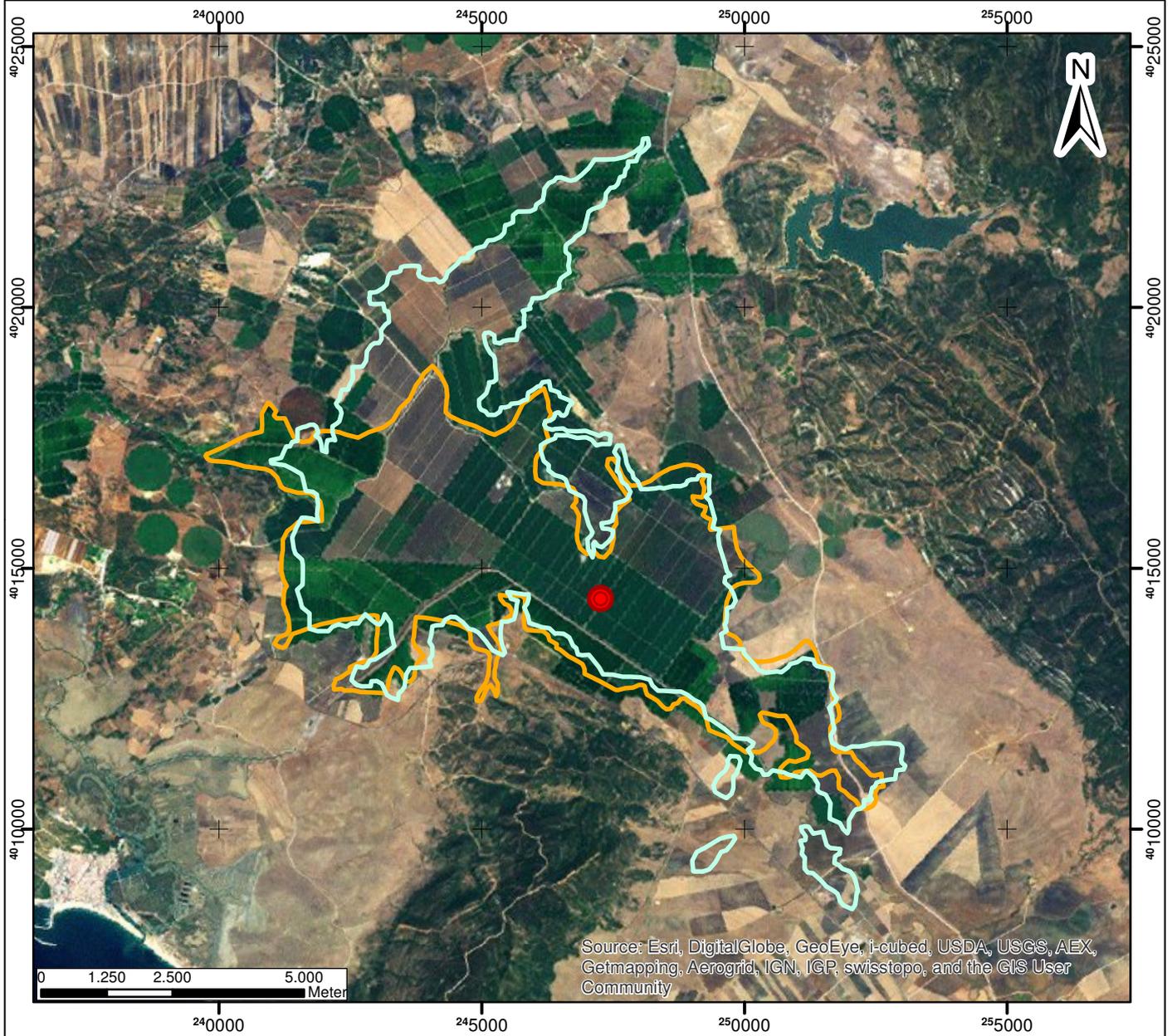
**Reserva Natural**

- Laguna
- Oberirdisches Einzugsgebiet

1 Arroyo Salado de Lebrija  
 2 Arroyo Salado de la Cabezas  
 3 Arroyo del Mascardo

**Maßstab 1:40.000**

**Orthofoto**



**Legende**

Orthofoto vom 19.06.2011

-  Laguna de la Janda 1868
-  Laguna de la Janda 1955

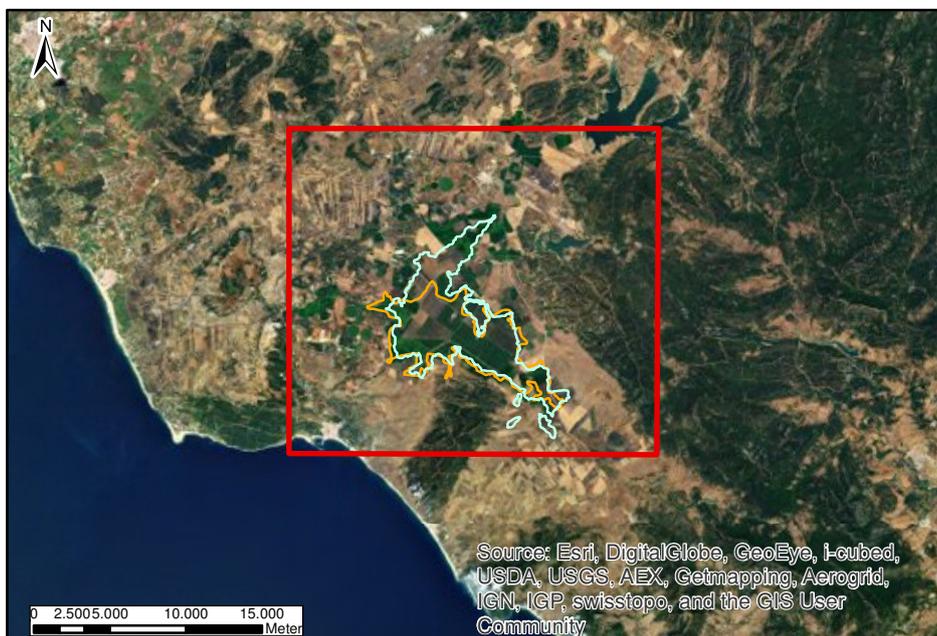
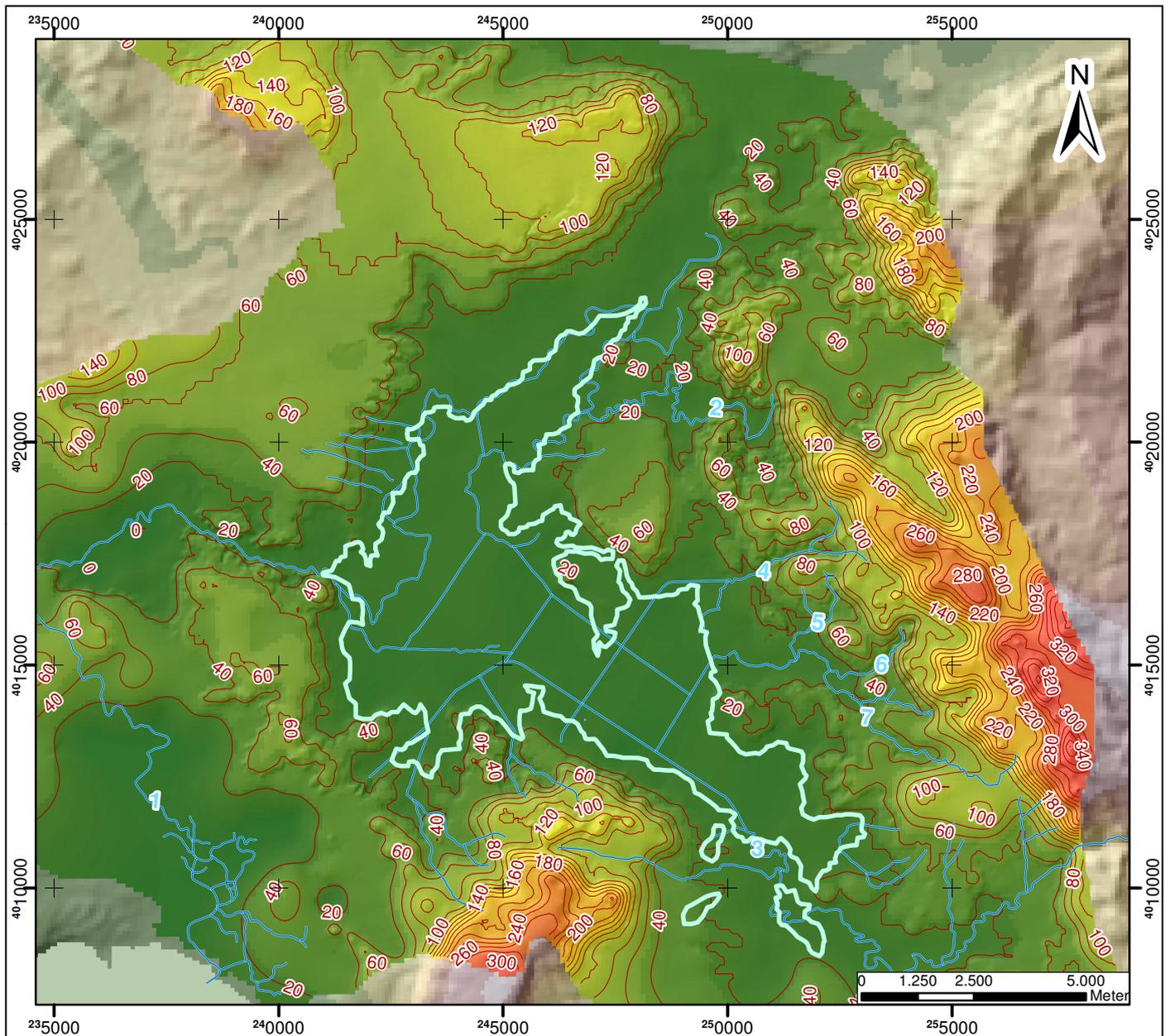


**Bohrpunkt JAN99-1**  
nach Luque et al. (1999)

Koordinaten (UTM 30S): 0247261  
4014422

**Maßstab 1:120.000**

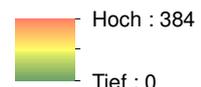
# Höhenmodell



## Legende

- Laguna de la Janda 1868
- Laguna de la Janda 1955

### Höhenmodell [m]

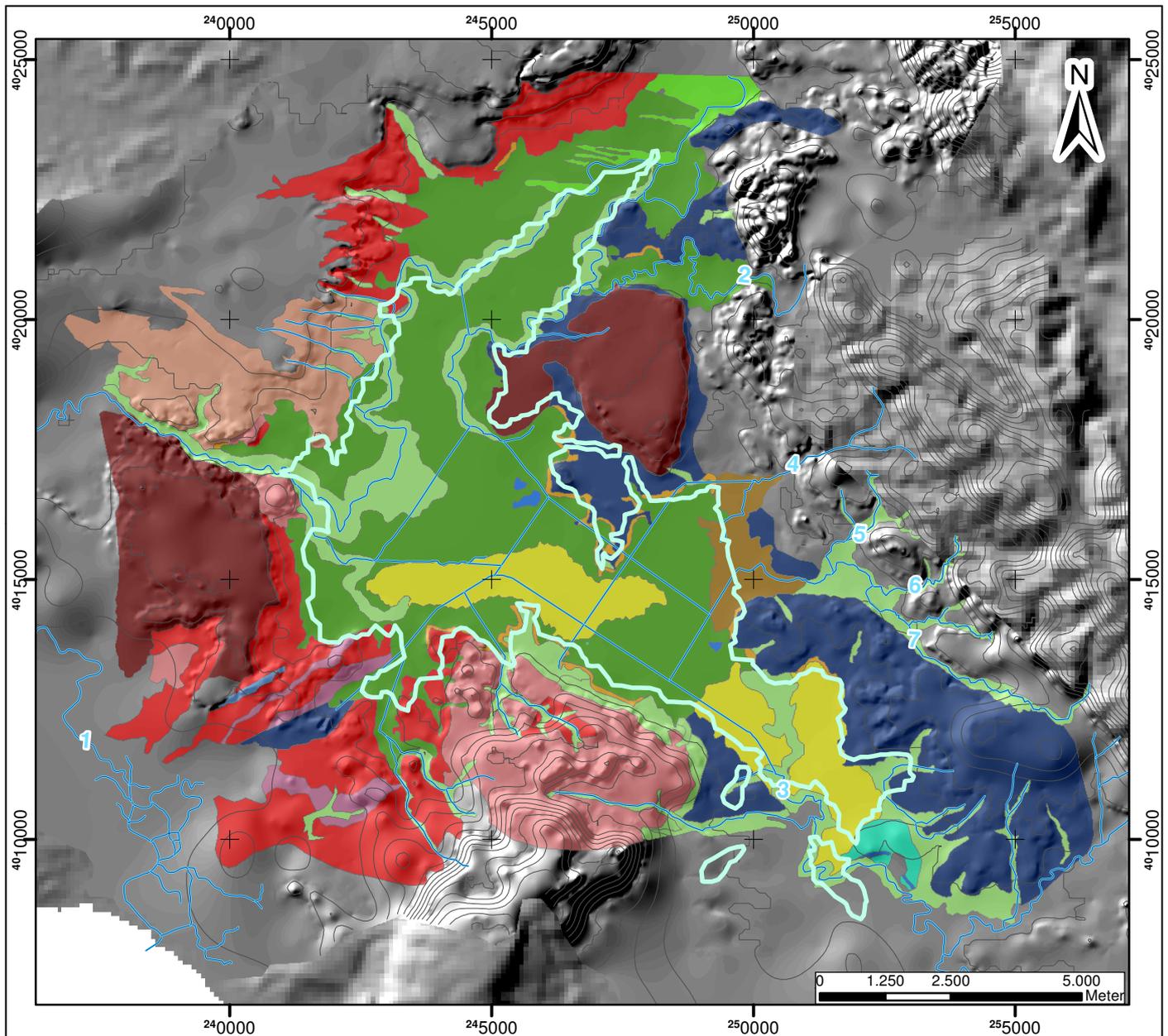


- Höhenlinie 20 m
- 40 Höhenangabe in m
- Gewässerläufe

- 1 Río Barbate
- 2 Río Celemin
- 3 Río Almodóvar
- 4 Arroyo Juan de Sevilla
- 5 Arroyo del Trimpancho
- 6 Arroyo del Torero
- 7 Arroyo Culebras

Maßstab 1:140.000

# Geologie



## Legende

- |   |                                 |                                |
|---|---------------------------------|--------------------------------|
|  Laguna de la Janda 1868 | <b>1</b> Río Barbate            | <b>5</b> Arroyo del Trimpancho |
|  Höhenlinie 20 m         | <b>2</b> Río Celemin            | <b>6</b> Arroyo del Torero     |
|  Gewässerläufe           | <b>3</b> Río Almodóvar          | <b>7</b> Arroyo Culebras       |
|   | <b>4</b> Arroyo Juan de Sevilla |                                |

## Geologie

### OKreide - Paläogen

-  Serie Calcaire
-  Mergel (Eozän)
-  Bioklasten, Kalk (Eozän)
-  Almarchal-Einheit (OKreide-Paläozän)

### Neogen

-  Sandstein (Pliozän)
-  Aljibe-Sandstein (Miozän)
-  bioklastischer Kalk, Ton (Miozän)
-  Ton Tubatomaclum (Miozän)
-  Bioklakarenite (Miozän)

### Quartär (Holozän)

-  Lagunensedimente (organisch, Ton)
-  Lagunensedimente (Silt, Ton)
-  Ton, Silt (Marschland)
-  Kies und Brekzien
-  Sandbarren
-  Alluvial/Kolluvial

Maßstab 1:120.000

## 6 Auswertung

Anhand der bearbeiteten Datensätze konnten geeignete Bohrlokationen in Salzseen mit holozäner Sedimentfüllung festgelegt bzw. vorgeschlagen werden. Das einbezogene Höhenmodell der einzelnen Untersuchungsgebiete trägt maßgeblich zu einer solchen Auswertung bei, da es die Umsetzbarkeit und die Qualität der Bohrungen beeinflusst. Desweiteren wurden geeignete Areale für Bohrlochlokationen anhand der anstehenden Geologie innerhalb der jeweiligen Becken definiert. Ein weiteres Kriterium ist durch die lokalen Voraussetzungen wie z.B. die Infrastruktur gegeben, diese wurden anhand von Orthofotografien ermittelt und in die Interpretation mit einbezogen.

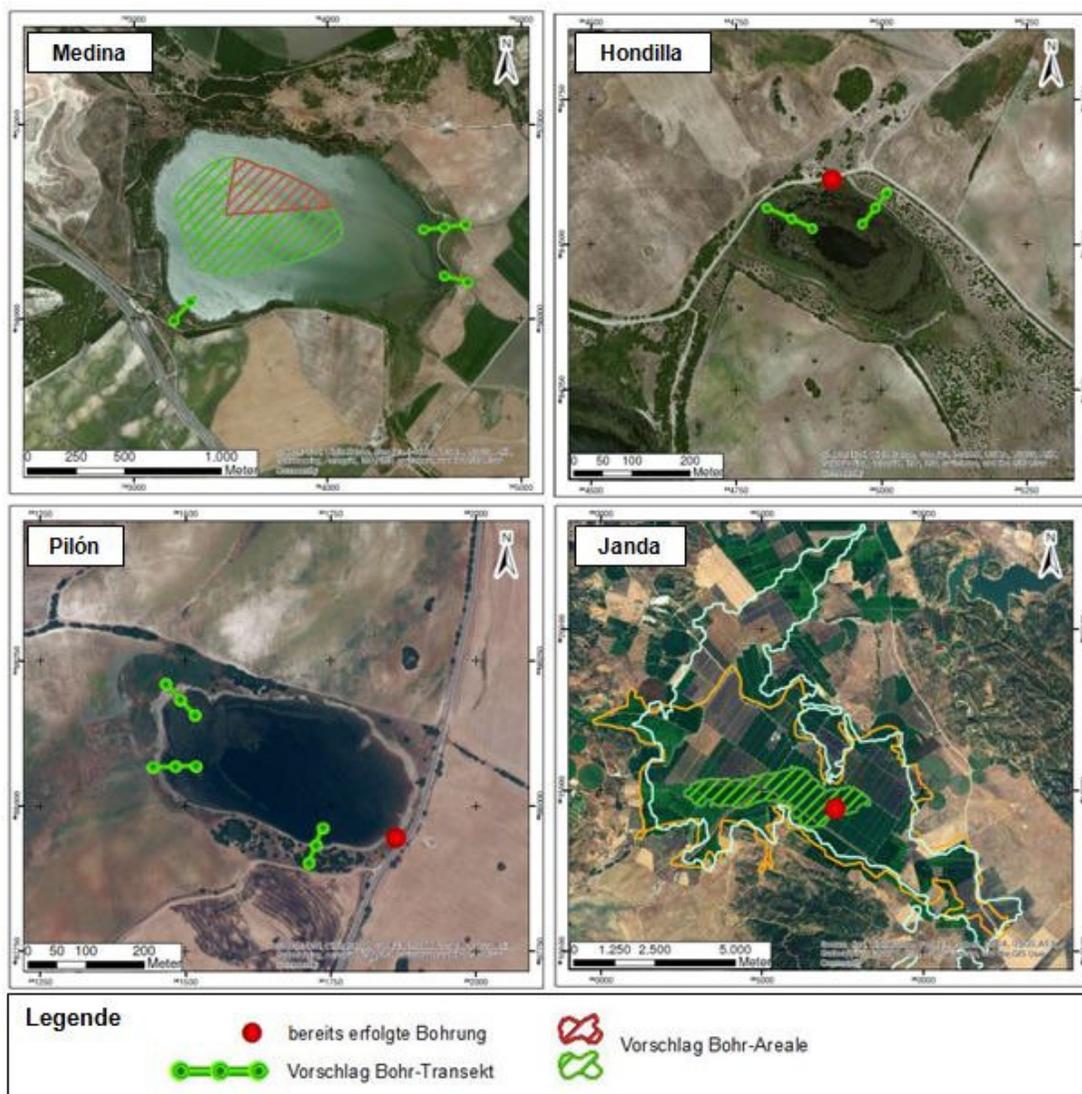
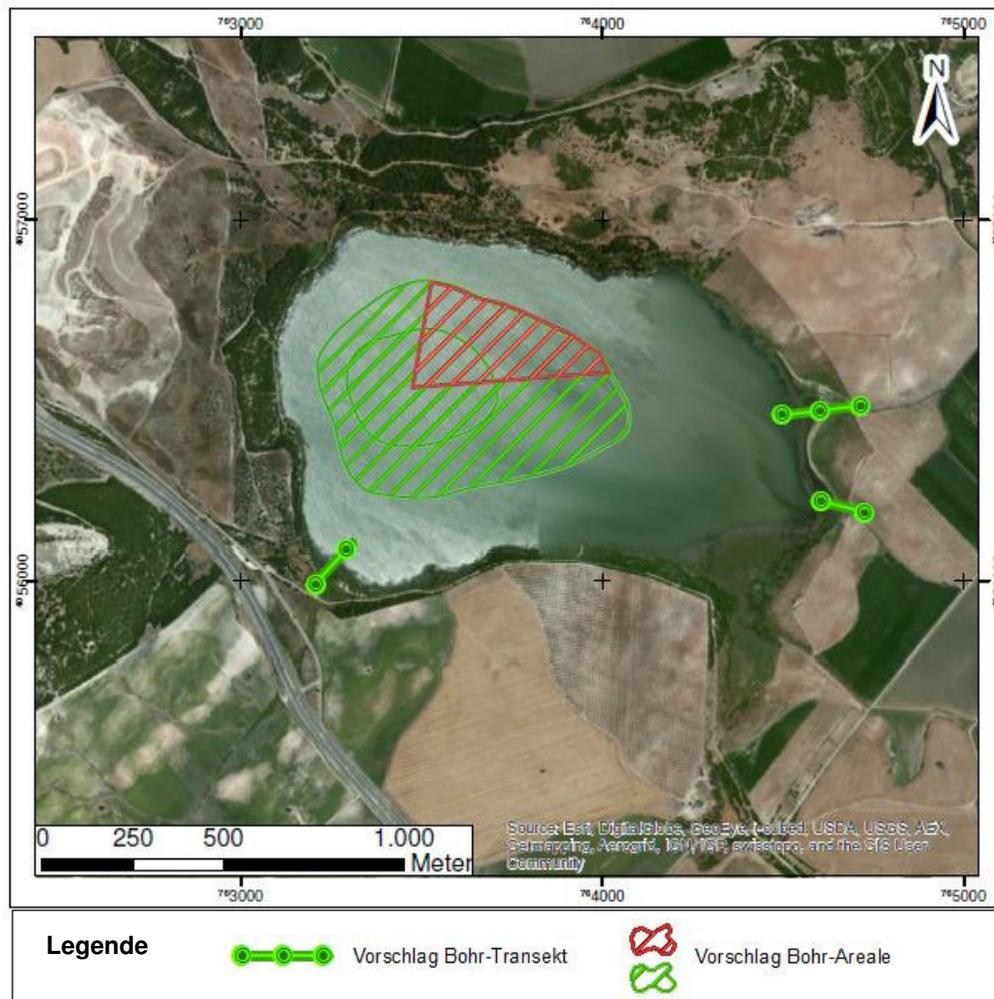


Abb. 14: Orthografische Auswertung der einzelnen Beckenbereiche hinsichtlich potentieller Bohrlokationen mit Flächeneingrenzung bzw. Transekt-Anordnung.

In **Abb. 14** ist die Auswertung aller vier Lagunen grafisch dargestellt. Im Folgenden wird die Auswertung für jede einzelne Lagune erläutert, wobei die Bohrlokationen je nach Situation und Charakteristik des Beckens in Flächen- oder in Transekt-Form vorgestellt werden. In **Tabelle 4 bis 7** werden die ermittelten Koordinaten zu den Bohrpunkt-Vorschlägen pro Lagune aufgelistet. Dabei wird jeweils nur eine Koordinatenangabe je Transekt angegeben, da die Verwirklichung einer solchen Messpunkt-Reihe erst im Gelände festgelegt werden kann. Die Koordinaten dienen somit als Annäherungspunkte und die grafischen Messpunkt-Linien (vgl. Abb. 14) als richtungsweisend.

### 6.1 Medina

In **Abb. 15** ist die orthografische Auswertung der Laguna de Medina dargestellt. Erkennbar sind die Bohrtransekt-Vorschläge Nr. 1 bis 3 sowie eine Flächeneingrenzung für Offshore-Bohrungen.



**Abb. 15: Orthografische Auswertung der Laguna de Medina hinsichtlich potentieller Bohrllokationen in Form von Bohr-Transekten (Nr. 1-3 von N nach S) und Flächeneingrenzung für eine Offshore-Bohrung.**

In Tabelle 4 sind die Koordinaten zu den drei Bohrtransekt-Vorschlägen aufgelistet.

**Tabelle 4: Koordinatenangabe der vorgeschlagenen Bohrlokationen zu Laguna de Medina (N nach S).**

	Nr.	UTM-Koordinaten (X ; Y)	Grad Dezimalminuten (N ; E)
<b>Medina</b>	<b>1</b>	29S (0764605 ; 4056465)	(36° 37,02' ; -6° 2,48')
	<b>2</b>	29S (0764605 ; 4056218)	(36° 36,89' ; -6° 2,48')
	<b>3</b>	29S (0763198 ; 4055984)	(36° 36,78' ; -6° 3,43')

Generell gilt, dass sich topografisch ebene Gebiete als Bohrflächen eignen. Wie auf dem Höhenmodell der Laguna de Medina erkennbar (vgl. S.35), ist aus diesem Grund von dem nördlichen Ufer, das aus pleistozänen Flussterrassen des Río Guadalete besteht, wie auch von den steileren West- und Südufern des Sees abzusehen. Gen Osten wird das Gelände flacher und rechtfertigt die Wahl der beiden Bohrlokationen Nr. 1 und 2 (siehe Tabelle 4). Diese liegen laut der geologischen Karte (vgl. S.36) in eozänen-miozänen Sequenzen, ufernah kann jedoch von holozänen Sedimentablagerungen ausgegangen werden aufgrund von Sedimentausfällungen lakustriner Fazies. Die Nr. 3 ist eine weniger geeignete Platzierung aufgrund des temporären Zuflusses der aus WS-Richtung in die Lagune einfließt und gegebenenfalls alluviales Material in die Lagune einbringt. Das positive Argument für diese Stelle ist jedoch die günstige Infrastruktur, da sie über die Schnellstraße A-381 leicht zu erreichen ist.

Die Laguna de Medina bietet mit ihrer weiten Fläche und relativ großen Wassertiefe zudem Potential zu Offshore-Bohrungen. Eine geeignete Abgrenzung zu einer solchen Offshore-Bohrung ist in Abb. 15 erkennbar: Die in grün straffierte Fläche wurde durch Interpolation des Höhenmodells außerhalb der Lagune ermittelt und auf den Seeboden des Beckens übertragen. Diese Fläche kann somit auf eine hohe Beckentiefe mit geeignetem Sediment- und insbesondere Pollenerhalt hinweisen. Die in rot schraffierte Fläche grenzt sich durch ihre NE-Lage ab, da die primäre Windrichtung des Gebiets W-SW-S aufgrund der Nähe zum Ozean ist und Sediment demzufolge bevorzugt E-NE-N akkumuliert wird. Die genannte Interpolation ist durch die geringe Datengrundlage relativ ungenau und ist für eine Flächenabgrenzung nur als Anhaltspunkt zu sehen.

## 6.2 Hondilla

In **Abb. 16** ist die orthografische Auswertung der Laguna de Hondilla dargestellt. Erkennbar sind Bohrtransekt-Vorschläge Nr. 4 und 5 sowie die Position der bereits im März 2013 durchgeführten Bohrung.



**Abb. 16:** Orthografische Auswertung der Laguna de Hondilla hinsichtlich potentieller Bohrlösungen in Form von Bohr-Transekten (Nr. 4-5 von W nach E).

In Tabelle 5 sind die Koordinaten der zwei vorgeschlagenen Bohr-Transekten aufgelistet.

**Tabelle 5:** Koordinatenangabe der vorgeschlagenene Bohrlösungen zu Laguna de Hondilla (W nach E).

	Nr.	UTM-Koordinaten (X ; Y)	Grad Dezimalminuten (N ; E)
Hondilla	4	30S (0244802 ; 4084565)	(36° 52,35' ; -5° 51,78')
	5	30S (0245010 ; 4084587)	(36° 52,37' ; -5° 51,64')

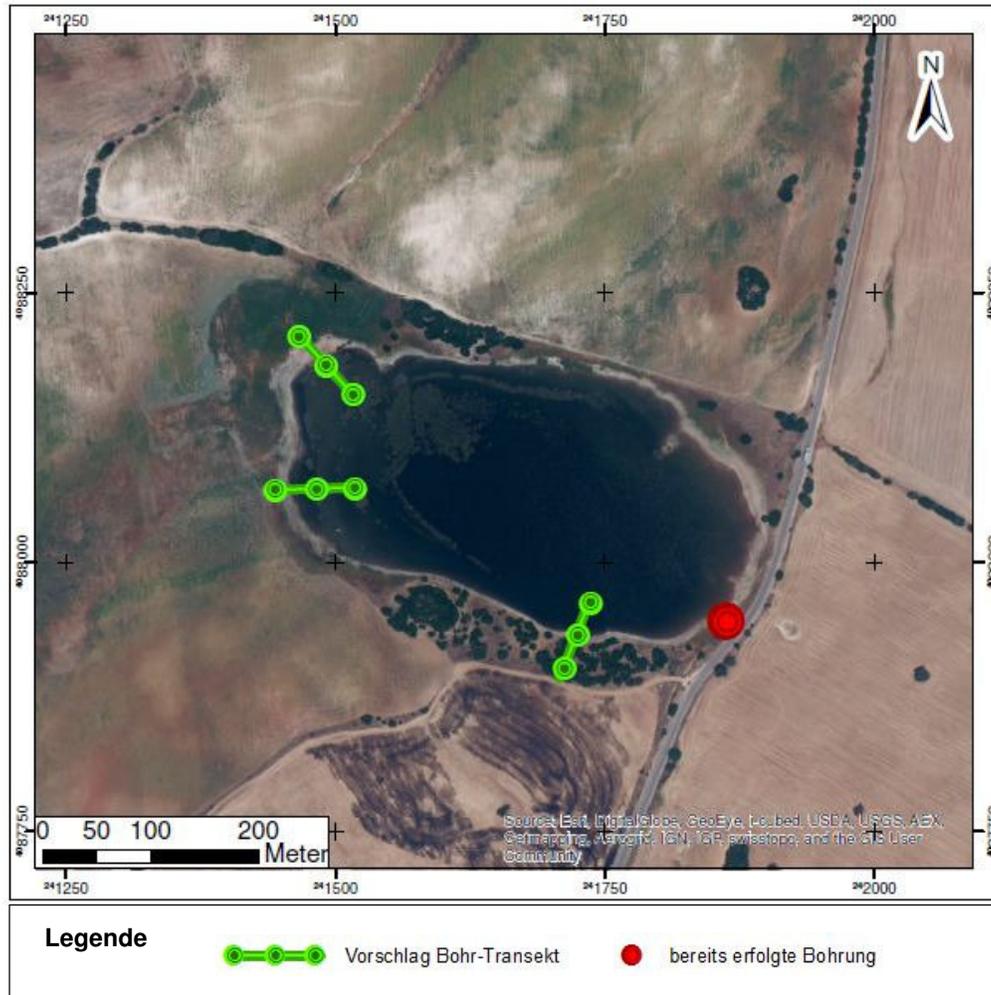
Die Laguna de Hondilla weist eine deutlich kleinere Fläche auf als die zuvor genannte Laguna de Medina. In der geologischen Karte (vgl. S.39) ist sie ausschließlich von

triassischen Sedimenten umgeben und weist soweit keinerlei Anhaltspunkte zu geeigneten holozänen Untergründen auf. Jedoch kann davon ausgegangen werden, dass dies auf die Auflösung der digitalisierten geologischen Karte im Maßstab 1:50.000 zurückzuführen ist, die holozäne Schichten nicht erfasst hat. Es ist davon auszugehen, dass nahe des Ufers und am Beckenboden lakustrine Sequenzen anzutreffen sind und demnach auch die Positionierung von Bohrungen sinnvoll ist.

Wie bereits erwähnt, ist das hydrologische Regime dieser Lagune in humiden Perioden durch einen oberflächlichen Abfluss aus der Lagune geprägt. Das Becken besitzt somit keinen permanenten endorheischen Charakter und ist für ufernahe Sedimentkernbohrungen nur wenig geeignet. Sollte dennoch eine solche Bohrung durchgeführt werden, ist der Bohrpunkt Nr. 5 dem Höhenmodell nach günstiger als die Nr. 4 (vgl. Tabelle 5), da dieser Bereich eine geringe Topografie aufweist. Beide Punkte sind über die Landstraße nördlich der Lagune zu erreichen. Die im März 2013 durchgeführte Bohrung mit den UTM-Koordinaten (0244915; 4084612) ist nach diesen Auswertungen keine ideale Lokalität, da sich an dieser Stelle der temporäre Abfluss der Lagune befindet und zu sedimentären Verschleppungen führt. Vorzuziehen wäre bei dieser Lagune eine Offshore-Bohrung in der Mitte des Beckens, da dort die Abflusskomponente der Lagune die geringsten Auswirkungen hat und der Sedimenterhalt gegeben ist.

### 6.3 Pilón

In **Abb. 17** ist die orthografische Auswertung der Laguna del Pílón dargestellt. Erkennbar sind Bohrtransekt-Vorschläge Nr. 6 bis 8 sowie die Position der bereits im März 2013 durchgeführten Bohrung.



**Abb. 17:** Orthografische Auswertung der Laguna del Pílón hinsichtlich potentieller Bohrlaktionen in Form von Bohr-Transekten (Nr. 6-8 von N nach S).

In Tabelle 6 sind die Koordinaten der drei vorgeschlagenen Bohr-Transekte aufgelistet.

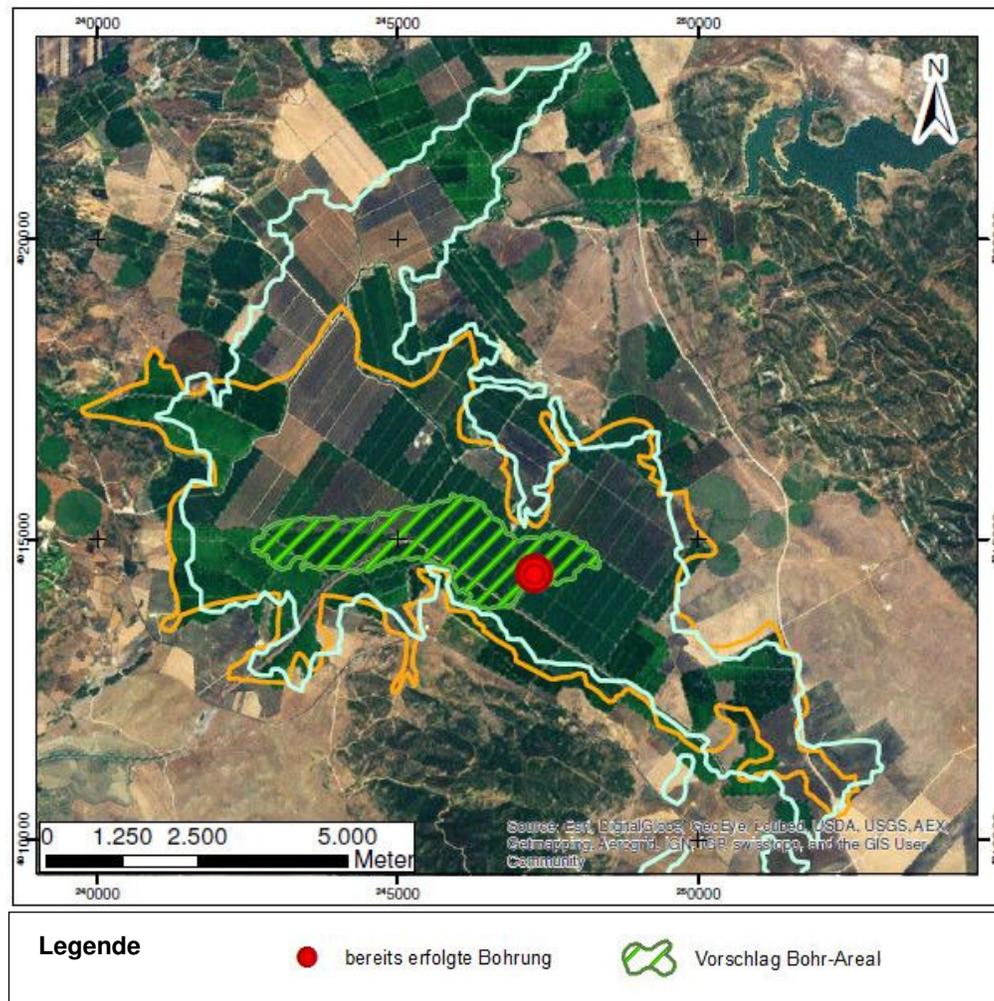
**Tabelle 6:** Koordinatenangabe der vorgeschlagenen Bohrlaktionen zu Laguna del Pílón (N nach S).

	Nr.	UTM-Koordinaten (X ; Y)	Grad Dezimalminuten (N ; E)
<b>Pilón</b>	<b>6</b>	30S (0241490 ; 4088184)	(36° 54,26' ; -5° 54,08')
	<b>7</b>	30S (0241442 ; 4088064)	(36° 54,19' ; -5° 54,11')
	<b>8</b>	30S (0241727 ; 4087931)	(36° 54,12' ; -5° 53,92')

Die Laguna del Pilón ist ähnlich wie die vorher genannte Laguna de Hondilla von triassischem Grundgestein umgeben (vgl. S.42). In diesem Fall wird eine ufernahe Bohrung als durchführbar angesehen und die drei vorgeschlagenen Lokationen in Tabelle 6 sind von ihrer Priorität her ähnlich. Infrastrukturell eignet sich die Nr. 8 am besten durch den nahen Verlauf der Schnellstraße SE-6201. Die bereits im März 2013 durchgeführte Bohrung an der Laguna del Pilón mit den UTM-Koordinaten (0241863; 4087945) (vgl. S.40) ist laut dieser Auswertung positionell eine gute Wahl gewesen. Wie bereits bei den beiden vorangegangenen Lagunen ist eine Offshore-Bohrung ebenfalls eine Option, wobei aufgrund der geringen Größe des Beckens eine Flächeneingrenzung nicht relevant ist bzw. im Gelände durchgeführt werden sollte.

## 6.4 Janda

In **Abb. 18** ist die orthografische Auswertung der ehemaligen Laguna de la Janda dargestellt. Erkennbar ist die Abgrenzung eines Bohr-Areals sowie die Position der Bohrung JAN99-1, die von Luque et al. (1999) durchgeführt wurde.



**Abb. 18:** Orthografische Auswertung der ehemaligen Laguna da la Janda hinsichtlich potentieller Bohrlagen in Form von einem Bohr-Areal und die Position der Bohrung JAN99-1 nach Luque et al. (1999).

In Tabelle 7 sind die Koordinaten der Bohrung Nr.9 nach Luque et al. (1999) und die potentielle Bohrlage Nr.10 aufgelistet.

**Tabelle 7:** Koordinatenangabe zu Laguna de la Janda der Bohrlage JAN99-1 aus (Luque et al. 1999).

	Nr.	UTM-Koordinaten (X ; Y)	Grad Dezimalminuten (N ; E)
Janda	9	30S (0247261 ; 4014422)	(36° 14,50' ; -5° 48,75')
	10	30S (0245000 ; 4015000)	(36° 14,78' ; -5° 50,27')

Der Bereich der alten Laguna de la Janda ist sehr ausgedehnt und topografisch nahezu auf Meeresniveau. Da die Lagune vorwiegend trocken liegt und nur in äußerst humiden Perioden überschwemmt ist, ist eine Lokation für eine Uferrandbohrung fernerkundlich nicht ausmachbar. Die in grün schraffierte Flächeneingrenzung in Abb. 18 bezieht sich auf die geologischen Gegebenheiten des Gebiets. Nach der geologischen Karte (vgl. S.45) befinden sich dort holozäne organisch-tonreiche Lagunensedimente der alten Laguna de la Janda. Diese Eingrenzung eignet sich also besonders zu paläoklimatisch orientierten Bohrungen. Im Gelände sollte jedoch beachtet werden, dass das Gebiet landwirtschaftlich genutzt wird und der Oberboden somit anthropogen stark beeinflusst ist. Zudem ist es, wie auf dem Höhenmodell (vgl. S.44) erkennbar, von Bewässerungskanälen durchzogen. Vorteilhaft wären Bohrungen nahe der SW-SE verlaufenden gebogenen Landstraße, die durch das Gebiet führt (vgl. S.43), beispielsweise an der Position Nr. 10. Potentielle Bohrpunkte befinden sich demzufolge in dem markierten Bohr-Areal und können variabel vor Ort bestimmt werden. Luque et al. (1999) führte bereits die Sedimentkernbohrung „JAN99-1“ in dem besagten Gebiet durch, aufgelistet in der Tabelle 7 (Nr. 9) und ebenfalls ein passabler Bohrungsplatz.

## 7 Zusammenfassung und Fazit

Mit der Zielsetzung einer Vorerkundung potentieller Bohrlokationen zum Gewinn paläoklimatisch wertvoller Sedimentsequenzen wurden die vier endorheischen Becken Laguna de Medina, Laguna de Hondilla, Laguna del Pilón und Laguna de la Janda fernerkundlich ausgewertet. Dazu wurden verschiedene GIS-Arbeiten durchgeführt wie beispielsweise die Erstellung von Höhenmodellen, Abgrenzung von Wasserscheiden, Darstellung der Geologie und Erfassung der Infrastruktur. Die Kriterien für die Wahl der Bohrplatzierungen wurden nach topografischen, geologischen und infrastrukturellen Eigenschaften der Untersuchungsgebiete festgelegt. Zudem wurde das hydrologische Regime wie die Salinität, der Wasserstand und vorhandene Ab- bzw. Zuflüsse der Lagunen erfasst.

Das Resultat der Arbeit setzt sich aus den GIS-Darstellungen der einzelnen Lagunen und Empfehlungen möglicher Bohrlokationen zusammen. Insgesamt wurden zehn Vorschläge zu Platzierungen von Bohr-Transekten und zwei Vorschläge zu potentiellen Bohr-Arealen gemacht. Bei der Laguna de Medina wird empfohlen Bohrungen am westlichen Ufer der Lagune sowie eine Offshore-Bohrung (besonders interessant aufgrund von Pollenerhalt im Sediment) in dem nordwestlichen Teil des Beckens durchzuführen. Die Laguna de Hondilla eignet sich durch einen temporären oberflächlichen Ausfluss weniger zu Sedimentkernbohrungen mit paläoklimatischen Hintergründen. Die Laguna del Pilón weist gute Platzierungsmöglichkeiten westlich und südlich der Lagune auf, eine Offshore-Bohrung inmitten des Beckens wäre ebenfalls eine gute Alternative. Bei der Laguna de la Janda, die durch die Umleitung von Gewässerläufen in den 1960er Jahren trocken gelegt wurde, eignet sich ein Bohrareal, das durch die Geologie des Untergrundes als holozänes organisch-tonreiches Sediment der ehemaligen Lagune abgegrenzt werden kann.

Grundsätzlich ist die Verwirklichung der einzelnen Entwürfe geländeabhängig und nicht garantiert umsetzbar, da es sich um eine Fernerkundung handelt. Die Auflösung und Aktualität der verarbeiteten Daten stellen dabei begrenzende Faktoren dar. Zudem gibt es weitere Variablen zur Umsetzung von weiterführenden Geländearbeiten, wie beispielsweise die aktuelle Infrastruktur des Gebiets, Jahreszeit bzw. Witterung und einhergehender Wasserstand der Lagune, sowie anthropogene Einwirkungen der betrachteten Gebiete.

Die Vorerkundung soll einen Überblick über die untersuchten Regionen geben und weitere Forschungsarbeiten ermöglichen bzw. erleichtern.

# Literaturverzeichnis

- Abrantes, F., Voelker, A., Sierro, F. J., Naughton, F., Rodrigues, T., Cacho, I., ... Batista, L. (2012). *The Climate of the Mediterranean Region: From the Past to the Future*. (P. Lionello, Ed.) (pp. 1–86). Elsevier.
- AEMET. (n.d.). Agencia Estatal de Meteorología - Gobierno de España. Valores climatológicos normales: Jerez de la Frontera Aeropuerto. Aufgerufen am 15.08.2013 unter <http://www.aemet.es/>
- Analajanda. (n.d.). La Laguna de la Janda. Aufgerufen am 26.08.2013 unter <http://analajanda.org/>
- Andrieux, J., Fontbote, J.-M., & Mattauer, M. (1971). Sur un modele explicatif de l'arc de Gibraltar. *Earth and Planetary Science Letters*, 12(2), 191–198.
- Banks, C. J., & Warburton, J. (1991). Mid-crustal detachment in the Betic system of southeast Spain. *Tectonophysics*, 191(3-4), 275–289.
- Battarbee, R. W. (2000). Palaeolimnological approaches to climate change, with special regard to the biological record. *Quaternary Science Reviews*, 19(1-5), 107–124.
- Berástegui, X., Banks, C. J., Puig, C., Taberner, C., Waltham, D., & Fernández, M. (1998). Lateral diapiric emplacement of Triassic evaporites at the southern margin of the Guadalquivir Basin, Spain. *Geological Society, London, Special Publications*, 134(1), 49–68.
- Bermúdez, F., & Ripa, B. (1988). Guía física de España. 4. Los lagos. Alianza Editorial.
- Blumenthal, M. (1927). Versuch einer tektonischen Gliederung der betischen Cordilleren von Central- und Südwest-Andalusien. *Eclogae Geol. Helv*, 20, 487–592.
- Bond, G., Broecker, W., Johnsen, S., McManus, J., Labeyrie, L., Jouzel, J., & Bonani, G. (1993). Correlations between climate records from North Atlantic sediments and Greenland ice. *Nature*, 365(6442), 143–147.
- Bond, G., Heinrich, H., Broecker, W., Labeyrie, L., McManus, J., Andrews, J., ... Ivy, S. (1992). Evidence for massive discharges of icebergs into the North Atlantic ocean during the last glacial period, 360(6401), 245–249.
- Bond, G., & Lotti, R. (1995). Iceberg discharges to the North Atlantic on millennial time scales during the last glaciation. *Science*, 267, 1005–1010.
- Bond, G., Showers, W., Cheseby, M., Lotti, R., Almasi, P., DeMenocal, P., ... Bonani, G. (1997). A Pervasive Millennial-Scale Cycle in North Atlantic Holocene and Glacial Climates. *Science*, 278(5341), 1257–1266.
- Bout-Roumazeilles, V., Nebout, N. C., Peyron, O., Cortijo, E., Landais, A., & Masson-Delmotte, V. (2007). Connection between South Mediterranean climate and North African atmospheric circulation during the last 50.000 yr BP North Atlantic cold events. *Quaternary Science Reviews*, 26(25-28), 3197–3215.

- Bradley, R. S. (1999). *Paleoclimatology, Volume 68, Second Edition: Reconstructing Climates of the Quaternary (International Geophysics)* (p. 613). Academic Press.
- Bradley, R. S., & Eddy, J. A. (1991). Records of past global changes. *Global Changes of the Past*, 5–9.
- Bradtmöller, M., Pastoors, A., Weninger, B., & Weniger, G.-C. (2012). The repeated replacement model – Rapid climate change and population dynamics in Late Pleistocene Europe. *Quaternary International*, 247, 38–49.
- Cacho, I., Grimalt, J. O., Pelejero, C., Canals, M., Sierro, F. J., Flores, J. A., & Shackleton, N. (1999). Dansgaard-Oeschger and Heinrich event imprints in Alboran Sea paleotemperatures. *Paleoceanography*, 14(6), 698–705.
- Casas, A., & Carbo, A. (1990). Deep structure of the Betic Cordillera derived from the interpretation of a complete Bouguer anomaly map. *Journal of Geodynamics*, 12(2–4), 137–147.
- Casas-Sainz, A. M., & De Vicente, G. (2009). On the tectonic origin of Iberian topography. *Tectonophysics*, 474(1-2), 214–235.
- CGIAR-CSI. (n.d.). SRTM 90m DEM Digital Elevation Database. Aufgerufen am 29.05.2013 unter <http://srtm.csi.cgiar.org/>
- CHG. (2005a). *Confederación hidrográfica del Guadalquivir - Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente*: Definición del contexto hidrogeológico de humedales Andaluces. II Cádiz. Aufrufbar unter <http://www.chguadalquivir.es/>
- CHG. (2005b). *Confederación hidrográfica del Guadalquivir - Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente: Definición del contexto hidrogeológico de humedales Andaluces. I Sevilla.* Aufrufbar unter <http://www.chguadalquivir.es>
- Cohen, A. S. (2003). *Paleolimnology: The History and Evolution of Lake Systems*. Oxford University Press.
- Cohen, K. M., Finney, S., & Gibbard, P. L. (2013). International Chronostratigraphic Chart. *International Commission on Stratigraphy*.
- Comas, M. C., García-Dueñas, V., & Jurado, M. J. (1992). Neogene tectonic evolution of the Alboran Sea from MCS data. *Geo-Marine Letters*, 157–164.
- Crespo-Blanc, A., & Campos, J. (2001). Structure and kinematics of the South Iberian paleomargin and its relationship with the Flysch Trough units: extensional tectonics within the Gibraltar Arc fold-and-thrust belt (western Betics). *Journal of Structural Geology*, 23(10), 1615–1630.
- Dansgaard, W., Johnsen, S. J., Clausen, H. B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N. S., Hammer, C. U., ... Jouzel, J. (1993). Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature*, 364(6434), 218–220.
- Dercourt, J., Zonenshain, L. P., Ricou, L.-E., Kazmin, V. G., Le Pichon, X., Knipper, A. L., ... Biju-Duval, B. (1986). Geological evolution of the tethys belt from the atlantic to the pamirs since the Lias. *Tectonophysics*, 123(1–4), 241–315.

- Durand-Delga, M., & Fontboté, J. M. (1980). Le cadre structural de la Méditerranée occidentale. *Mem. BRGM*, 15, 677–685.
- El Blog de la Laguna de la Janda. (n.d.). Cartografía. Aufgerufen am 13.05.2013 unter <http://blog.lagunalajanda.org/>
- ESRI. (n.d.). Geographic Information Systems - Understanding our world. Aufgerufen am 24.08.2013 unter <http://www.esri.com>
- Fallot, P. (1948). *Les cordillères betiques*. Imprenta Elzeviriana.
- Fernandez, M., Berastegui, X., Puig, C., Garcia-Castellanos, D., Jurado, M. J., Torne, M., & Banks, C. (1998). Geophysical and geological constraints on the evolution of the Guadalquivir foreland basin, Spain. *Geological Society, London, Special Publications*, 134(1), 29–48.
- Finlayson, C., Giles Pacheco, F., Rodriguez-Vidal, J., Fa, D. A., Maria Gutierrez Lopez, J., Santiago Perez, A., ... Sakamoto, T. (2006). Late survival of Neanderthals at the southernmost extreme of Europe. *Nature*, 443(7113), 850–853.
- Font Tullot, I. (1983). Climatología de España y Portugal. *Instituto Nacional de Meteorología, Madrid, Spain*.
- Friend, P. F., & Dabrio, C. J. (1996). *Tertiary basins of Spain: the stratigraphic record of crustal kinematics* (Vol. 6). Cambridge University Press.
- García-Hernández, M., López-Garrido, A. C., Rivas, P., De Galdeano, C., & Vera, J. A. (1980). Mesozoic palaeogeographic evolution of the external zones of the Betic Cordillera. *Geologie en Mijnbouw*, 59(2), 155–168.
- Genty, D., Blamart, D., Ouahdi, R., Gilmour, M., Baker, A., Jouzel, J., & Van-Exter, S. (2003). Precise dating of Dansgaard-Oeschger climate oscillations in western Europe from stalagmite data. *Nature*, 421(6925), 833–7.
- Gràcia, E., Dañobeitia, J., Vergés, J., Bartolomé, R., & Córdoba, D. (2003). Crustal architecture and tectonic evolution of the Gulf of Cadiz (SW Iberian margin) at the convergence of the Eurasian and African plates. *Tectonics*, 22(4).
- Graham, R. W. (2005). Quaternary mammal communities: relevance of the individualistic response and non-analog faunas. *Paleontological Society Papers*, 11, 141–158.
- Grousset, F. E., Labeyrie, L., Sinko, J. A., Cremer, M., Bond, G., Duprat, J., ... Huon, S. (1993). Patterns of Ice-Rafted Detritus in the Glacial North Atlantic (40-55°N). *Paleoceanography*, 8(2), 175–192.
- Heinrich, H. (1988). Origin and consequences of cyclic ice rafting in the Northeast Atlantic Ocean during the past 130,000 years. *Quaternary Research*, 29(2), 142–152.
- Hoernle, K., Van den Bogaard, P., Duggen, S., Mocek, B., & Garbe-Schönberg, D. (1999). Evidence for Miocene subduction beneath the Alboran Sea: 40Ar/39Ar dating and geochemistry of volcanic rocks from Holes 977A and 978A. In *Proceedings of the ocean drilling program* (Vol. 161, pp. 357–373).

- IGME. (n.d.). InfoIGME - Visor. Aufgerufen am 20.05.2013 unter <http://www.igme.es/infoigme/visor/>
- IGME. (1975). Instituto geológico y minero de España: Memoria y Mapa Geológico de España 1:50000. Hoja de Lebrija nº 12-43 (1034).
- IGME. (1983a). Instituto geológico y minero de España: Memoria y Mapa Geológico de España 1:50000. Hoja de Vejer de la Frontera nº 12-47 (1073).
- IGME. (1983b). Instituto geológico y minero de España: Memoria y Mapa Geológico de España 1:50000. Hoja de Tahivilla nº 13-47 (1074).
- IGME. (1984). Instituto geológico y minero de España: Memoria y Mapa Geológico de España 1:50000. Hoja de Paterna de Rivera nº 12-45 (1062).
- Iribarren, L., Vergés, J., Fullea, J., & Fernández, M. (2003). Balance volumétrico de sedimentos neógenos y cuaternarios en el margen Sud- Ibérico: implicaciones tectónicas. *Geotemas*.
- JA. (2005). Junta de Andalucía - Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente: Caracterización ambiental de Humedales en Andalucía. Junta de Andalucía. Aufrufbar unter <http://www.juntadeandalucia.es/>
- Jalut, G., Esteban Amat, A., Bonnet, L., Gauquelin, T., & Fontugne, M. (2000). Holocene climatic changes in the Western Mediterranean, from south-east France to south-east Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 160(3-4), 255–290.
- Kortekaas, K., & Vaya, J.-F. Biodiversity of inland saltscapes of the Iberian Peninsula. , 15 *Natural Resources and Environmental Issues* (2009).
- Kubatzki, C. (2000, April 13). Wechselwirkungen zwischen Klima und Landoberfläche im Holozän - Modellstudien -. *Fachbereich Geowissenschaften*.
- Loneragan, L., & White, N. (1997). Origin of the Betic-Rif mountain belt. *Tectonics*, 16(3), 504–522.
- Luque, L., Silva, P. G., Zazo, C., Recio, J. M., Carrasco, P., Goy, J. L., ... Poza, L. (2001). Datos geofísicos y evolución sedimentaria de la Depresión de la Janda (Cádiz). *Geogaceta*, 29, 69–72.
- Luque, L., Zazo, C., Recio, J. M., DUENAS, M. A., GOY, J. L., LARIO, J., ... GONZALEZ, A. (1999). Evolución sedimentaria de la laguna de La Janda (Cádiz) durante el Holoceno. *Cuaternario y geomorfología*, 13(3-4), 43–50.
- Martín-Puertas, C., Valero-Garcés, B. L., Mata, M. P., Moreno, A., Giralt, S., Martínez-Ruiz, F., & Jiménez-Espejo, F. (2009). Geochemical processes in a Mediterranean Lake: a high-resolution study of the last 4,000 years in Zoñar Lake, southern Spain. *Journal of Paleolimnology*, 46(3), 405–421.
- Montes, C., & Martino, P. (1987). Lagunas salinas españolas.
- Morellón, M., Valero-Garcés, B., Vegas-Vilarrúbia, T., González-Sampériz, P., Romero, Ó., Delgado-Huertas, A., ... Corella, J. P. (2009). Lateglacial and Holocene palaeohydrology in the western Mediterranean region: The Lake Estanya record (NE Spain). *Quaternary Science Reviews*, 28(25-26), 2582–2599.

- Moreno, A., Cacho, I., Canals, M., Grimalt, J. O., Sánchez-Goñi, M. F., Shackleton, N., & Sierro, F. J. (2005). Links between marine and atmospheric processes oscillating on a millennial time-scale. A multi-proxy study of the last 50,000yr from the Alboran Sea (Western Mediterranean Sea). *Quaternary Science Reviews*, 24(14-15), 1623–1636.
- Murawski, H., & Meyer, W. (2010). *Geologisches Wörterbuch* (p. 94).
- Platt, J. P., & Vissers, R. L. M. (1989). Extensional collapse of thickened continental lithosphere: A working hypothesis for the Alboran Sea and Gibraltar arc. *Geology*, 17(6), 540–543.
- Presidencia de la Junta de Andalucía. (n.d.-a). Ley 2/1987, de 2 de abril, de declaración de doce lagunas como Reservas Integrales Zoológicas en la Provincia de Cádiz. *BOJA núm. 31 de 08 de Abril de 1987*.
- Presidencia de la Junta de Andalucía. (n.d.-b). Ley 2/1989, de 18 de julio, por la que se aprueba el inventario de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía, y se establecen medidas adicionales para su protección. *BOJA núm. 60 de 27 de julio 1989; BOE núm 201 de 23 de agosto 1989*.
- Rasmussen, T. L., Thomsen, E., van Weering, T. C. E., & Labeyrie, L. (1996). Rapid changes in surface and deep water conditions at the Faeroe Margin during the last 58,000 years. *Paleoceanography*, 11(6), 757–771.
- Reed, J. M. (1996). The potential of diatoms, ostracods and other indicators for Holocene palaeoclimate research in southern Spanish salt lakes. *Limnética*.
- Reed, J. M., Stevenson, A. C., & Juggins, S. (2001). A multi-proxy record of Holocene climatic change in southwestern Spain: the Laguna de Medina, Cádiz. *The Holocene*, 11(6), 707–719.
- Rehault, J.-P., Boillot, G., & Mauffret, A. (1984). The Western Mediterranean Basin geological evolution. *Marine Geology*, 55(3-4), 447–477.
- Reicherter, K. (2001). Neotektonik und Paläoseismologie im nördlichen Gibraltarbogen. Unpubl. Habilitationsschrift, Univ. Hamburg. *Noch nicht erschienen*.
- Rodríguez-Fernández, J., de Galdeano, C. S., & Fernández, J. (1989). Genesis and evolution of the Granada Basin (Betic Cordillera, Spain). *Intermontane Basins. Geology and Resources, Thauasuthipitak TP, Ounchanum P (eds). University of Chiang Mai, Thailand*, 294–305.
- Rodríguez-Rodríguez, M., Moral, F., & Benavente, J. (2006). Hydro-morphological characteristics and hydrogeological functioning of a wetland system: a case study in southern Spain. *Environmental Geology*, 52(7), 1375–1386.
- Rodríguez-Rodríguez, Miguel. (2007). Hydrogeology of ponds, pools, and playa-lakes of southern Spain. *Wetlands*, 27(4), 819–830.
- Rodríguez-Vidal, J., Gracia, F. J., & Giles, F. (1993). Deformaciones cuaternarias en la terraza fluvial de la Laguna de Medina (Rio Guadalete, Jerez de la Frontera). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 6, 47–55.
- Román, J. C., & Espejo, J. M. (2007). La Laguna de la Janda (Cádiz): 10 años despues del inicio de los restauración ecológica. *Almoraima*, 35, 175–184.

- Sanz De Galdeano, C. (1990). Geologic evolution of the Betic Cordilleras in the Western Mediterranean, Miocene to the present. *Tectonophysics*, 172(1-2), 107–119.
- Sanz de Galdeano, C. M. (1996). Tertiary tectonic framework of the Iberian Peninsula. *Tertiary Basins of Spain: the Stratigraphic Record of Crustal Kinematics*, 6, 9.
- Sanz de Galdeano, C., & Vera, J. A. (1992). Stratigraphic record and palaeogeographical context of the Neogene basins in the Betic Cordillera, Spain. *Basin Research*, 4(1), 21–36.
- Sarnthein, M., Stattegger, K., Dreger, D., Erlenkeuser, H., Grootes, P., Haupt, B. J., ... Weinelt, M. (2001). Fundamental modes and abrupt changes in North Atlantic circulation and climate over the last 60 ky: concepts, reconstruction and numerical modeling.
- Schaefer, M. (2011). *Wörterbuch Der Ökologie* (p. 372). Springer DE.
- Srivastava, S. P., Roest, W. R., Kovacs, L. C., Oakey, G., Levesque, S., Verhoef, J., & Macnab, R. (1990). Motion of Iberia since the Late Jurassic: results from detailed aeromagnetic measurements in the Newfoundland Basin. *Tectonophysics*, 184(3), 229–260.
- Stoner, J. S., Channell, J. E. T., Hillaire-Marcel, C., & Kissel, C. (2000). Geomagnetic paleointensity and environmental record from Labrador Sea core MD95-2024: global marine sediment and ice core chronostratigraphy for the last 110 kyr. *Earth and Planetary Science Letters*, 183(1-2), 161–177.
- Vergés, J., & Fernández, M. (2006). Ranges and basins in the Iberian Peninsula: their contribution to the present topography. *Memoirs-Geological Society of London*, 223–234.
- Viseras, C., Soria, J. M., Fernández, J., & García-García, F. (2005). The Neogene-Quaternary basins of the Betic Cordillera: an overview. In *Geophysical Research Abstracts* (Vol. 7, pp. 11123–11127).
- Vissers, R. L. M., Platt, J. P., & van der Wal, D. (1995). Late orogenic extension of the Betic Cordillera and the Alboran Domain: A lithospheric view. *Tectonics*, 14(4), 786–803.
- Voelker, A. (1999). *Zur Deutung der Dansgaard-Oeschger Ereignisse in ultra-hochauflösenden Sedimentprofilen aus dem Europäischen Nordmeer*. Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität.
- WeatherSpark. (n.d.). Average Weather For Jerez de la Frontera/Cádiz, Spain. Aufgerufen am 15. August 2013 unter <http://weatherspark.com/>
- Weniger, G.-C., & Reicherter, K. (n.d.). SFB 806: Cluster C. Aufgerufen am 28.06.2013 unter <http://www.sfb806.uni-koeln.de/>
- Woldstedt, P. (1962). Über die Gliederung des Quartärs und Pleistozäns. Geozon Science Media.
- Wolff, E. W., Chappellaz, J., Blunier, T., Rasmussen, S. O., & Svensson, A. (2010). Millennial-scale variability during the last glacial: The ice core record. *Quaternary Science Reviews*, 29(21-22), 2828–2838.
- Ziegler, P. A. (1988). Evolution of the Arctic-North Atlantic and the Western Tethys- A visual Presentation of a Series of paleogeographic-paleotectonic maps. *Mem.-Am. Assoc. Pet. Geol*, 43, 164–196.

Ziegler, P. A. (1990). *Geological Atlas of Western and Central Europe: 1990* (Vol. 1). Geological Society.