

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

El movimiento cíclico del Sol, la Luna, los planetas y las estrellas constituye un tipo de refinamiento casi inalcanzable para los seres humanos. Los modelos matemáticos constituyen sólo una aproximación a la realidad, pero no la realidad en sí misma¹. De allí, la precaución en la utilización de cartas estelares, *softwares* astronómicos e instrumentos de medición, como la brújula magnética, el teodolito y el clisímetro, que entregan pequeños márgenes de error (entre minutos y un grado de arco).

En este trabajo, se maneja el día como la unidad mínima de análisis calendárico. Éste (del latín *dies*) se define como el lapso que tarda la Tierra desde que el Sol está en un punto, p.ej. el más alto, hasta que vuelve a estarlo. El día solar medio, base del tiempo civil, se compone de 24 horas, de 60 minutos y 60 segundos, es decir, un total de 86400 segundos. Para el cálculo de diferencia de días entre dos fechas dentro del calendario gregoriano, se utilizó el recurso *MonteroCalc2003*²

Los movimientos de salidas y puestas del Sol, pases cenitales, ciclos lunares (sinódico y sideral), posiciones extremas de la Luna, culminación y conjunción de estrellas, entre otros, ha permitido - en distintas escalas de organización social - la construcción, manejo y ajuste de distintos tipos de calendarios. Con ello, además se establecen los parámetros espacio-temporales para la acción social y las bases ontológicas del estar o ser en el mundo.

Un calendario (del latín *calenda*), vulgarmente se define como la cuenta sistematizada del transcurso del tiempo, útil para la organización cronológica de las actividades humanas. Éstos pueden ser lunares, por sus fases (de 29.5 días) como el caso islámico, por su posición con respecto a una constelación (de 27.3 días) como

¹ Cabe destacar que Atacama, por sus condiciones de extrema aridez (inexistencia de bosques, gran cantidad de noches despejadas y ausencia de precipitaciones), pudo constituir un lugar donde la observación del cielo (su percepción) habría jugado un rol central dentro de la construcción de categorías sociales de espacio y tiempo. De allí, que el calendario y las actividades asociadas a éste, pudieran tener mayor relación con el cielo que otras latitudes y entornos geográficos, p.ej. el amazonas y zonas lluviosas.

² Ipan tepeme ihuan oztome: <http://www.montero.org.mx/cosmos.htm#>

entre los incas³, o solares (de 365 días y fracción) como en la actualidad, el cristiano-occidental. Cabe destacar, también la coexistencia de otros tipos de calendario que no necesariamente toman en cuenta los movimientos de los astros, sino la existencia de una fecha mítica de inicio, p.ej. el sistema de cuenta larga maya o el calendario ritual de 260 días mesoamericano (*tzolkin*: maya, *tonalpohualli*: mexicana) (Prem 2008).

Los calendarios, son ante todo el reflejo de la estructura y organización social de cada pueblo. Al igual que otros elementos del entorno, p.ej. los cerros, los ríos, la biota y otros grupos étnicos, entre otros, será el resultado cultural de la interrelación de los seres humanos con su medio físico, social y simbólico. En otras palabras, consecuencia de las distintas categorías de espacio-tiempo que hacen parte de la cosmovisión o perspectiva del mundo conocido.

La metodología de investigación incluye el trabajo de archivo, campo y laboratorio. En un primer momento (agosto-noviembre 2008) procedí a la revisión de los antecedentes, el adiestramiento en el uso del tránsito (teodolito) y el cálculo matemático de los horizontes. La plataforma bibliográfica, se basó en los trabajos del alemán Tomas Barthel (1986 [1959]), Mostny (1969), A. María Mariscotti de Görlitz (1978), Franz Tichy (1983), Johan Reinhard (1983), M. Ester Grebe y Blas Hidalgo (1988), Tom Zuidema (1989, 1990) y Blas Hidalgo (1992), quienes daban cuenta de la existencia de un posible sistema de *ceques* y calendario de horizonte asociado.

En la parte técnica, fui asesorado por mi tutor el Dr. Stanislaw Iwaniszewski, mientras que en los procedimientos de campo (observación de horizonte) colabore con el Mtro. Rafael Zimbrón, quién realiza trabajos de arqueoastronomía en la zona de Xochimilco, Milpa Alta y cerro del Tepeyac, cuenca de México. De especial interés, resulto mi adiestramiento en la medición de iglesias del siglo XVI-XVII y maquetas prehispánicas con sus horizontes oriente y poniente. Este trabajo, permitió no sólo aprender la técnica, sino además adaptar la metodología incluyendo el uso de la brújula magnética, el uso de cuerdas y estacas, el clisímetro, la fotografía de horizonte, junto con el uso del programa *Google Earth*.

³ En este tipo de calendario, si se considera la salida heliaca de las Pléyades se puede hablar de un año cuasi sideral. Cabe destacar, que las Pléyades no son propiamente una constelación, sino un cumulo estelar que hace parte de la constelación de Tauro.

El trabajo de campo se realizó en dos etapas. La primera entre el 19 de diciembre de 2008 y el 4 de enero de 2009, cuando realice el primer *rapport* (la relación) con la comunidad de Socaire, mediciones de horizonte con transito desde el centro ceremonial para el solsticio de diciembre⁴, en la quebrada de nacimiento, y el reconocimiento arqueológico de los volcanes Chiliques (5778 msm), Pular (6239 msm) y Salín (6048 msm).

En una segunda etapa, entre el 16 y 31 de octubre de 2009, realice la etnografía de la ceremonia de limpia de canal y *talatur*, mediciones de horizonte con transito desde la iglesia antigua, mediciones con brújula magnética desde el cementerio y el reconocimiento arqueológico de laguna y volcán Miñiques (5927 msm). Este trabajo, se vio complementado con mediciones de horizontes en el pucara de Juella, provincia de Jujuy, el *ushnu* del sitio El Apunao y reconocimiento arqueológico del nevado de Cachi (6380 msm), provincia de Salta, Argentina (Proyecto Arqueológico Juella, Facultad de Filosofía, Universidad de Buenos Aires)⁵.

Cabe destacar los aspectos comparativos de mi trabajo en la puna argentina, si se tienen en cuenta similitudes culturales (Tawantinsuyu 1470-1532 d.C.), geo-climáticas (desierto de altura) y latitudinales, cercanas al trópico de Capricornio (23°26'17"S).

Para la identificación de las etnocategorías de espacio y tiempo, se utilizaron los dibujos del cantal de Socaire Don Laureano Tejerina, publicados por la antropóloga María Ester Grebe (1996). Los cuales, fueron posteriormente digitalizados y llevados a 3D gracias al programa *photoshop* y la colaboración permanente del investigador en arqueoastronomía Patricio Bustamante. Toda la información se complemento con literatura especializada para los Andes, entrevistas semi estructuradas realizadas a informantes claves de la comunidad y la comparación con los contexto rituales asociados a la ceremonia de petición de lluvias y adoración a los cerros en Socaire

⁴ La observación con transito para el solsticio incluye los siguientes parámetros: ubicación (GPS), fecha, hora local, acimut, fotografía y detalles del paisaje. Se tomo como referencia el primer y último rayo de luz sobre el horizonte.

⁵ Los resultados de esta investigación no se presentan en este manuscrito.

Para el registro se utilizó un cuaderno de notas, una cámara digital (Nikon 4100), una brújula magnética (precisión = 1°)⁶, un GPS Garmin Legend (Datum WGS 84), un teodolito/transito Berger, Modelo ST-1 (precisión = 1'), además de la utilización de fotografías aéreas *Landsat*⁷, la carta topográfica del Instituto Geográfico Militar de Chile (Toconao 1:125000) e imágenes satelitales del programa *Google Earth*⁸.

Todas las mediciones realizadas con brújula magnética, o ángulo formado entre la meridiana geográfica (norte geográfico) y la meridiana magnética (norte magnético), se corrigieron con una calculadora de estimación del valor de la declinación magnética⁹. Para la posición geográfica de Socaire (23°35'28"S, 67°52'36"W), la declinación magnética vario entre 4°4' y 4°14' W, con una variación anual de 0° 10' al oeste, entre diciembre de 2008 y octubre de 2009.

Para el trabajo en la alta montaña, además de los planos e información proporcionados por CIADAM (Centro de Investigaciones de Alta Montaña) (1985, 2001), conté con planos y diarios de campo inéditos de Johan Reinhard y Carolina Agüero, quienes realizaron el reconocimiento arqueológico del volcán Chiliques en 1980 y 2003, respectivamente. La cartografía al detalle fue proporcionada por el andinista Claudio Lois (escala 1:25000 y 1:50000). Las rutas de ascenso fueron marcadas con antelación en el GPS gracias a la utilización de cartografía digital y datos recogidos del trabajo etnográfico.

Debido a las condiciones del terreno (altitud, falta relativa de oxígeno, fuertes vientos y bajas temperaturas), fue necesario el uso de ropa y equipo de alta montaña, que incluyó la preparación física, el adiestramiento en el uso del piolet de marcha y la caminata en zigzag para enfrentar la pronunciada pendiente, principalmente en la última parte del ascenso. Cuento con la preparación física, técnica y psicológica para el ascenso de montañas de más de 5000 msm (Andes chilenos), sin embargo, opte por mantener un régimen de entrenamiento diario de 40-45 min consistente en: trote, flexión de brazos y piernas, levantamiento de pesas y abdominales. Además de ascensiones deportivas a los volcanes Iztaccihuatl (5220 msm), Toluca (4690 msm),

⁶ La brújula magnética pierde precisión cuando se trabaja en zonas con alto magnetismo, o cuando realizamos observaciones en horizontes cercanos o muy altos.

⁷ <http://www.landsat.org/>

⁸ <http://earth.google.es/>

⁹ <http://recursos.gabrielortiz.com/index.asp>

Tlaloc (4125 msm) y Ajusco (3930 msm), por periodos cortos de 2-3 días, todos ubicados en la república mexicana.

Para la identificación de material en superficie (cerámica y lítico) y arquitectura prehispánica en el volcán Chiliques, Pular, Salín y Miñiques conté con la colaboración de las investigadoras Victoria Castro (Universidad de Chile) y Varinia Varela (Museo Chileno de Arte Precolombino). Así, como de la antropóloga Marie Carolina Núñez para la identificación de la toponimia relacionada a la ceremonia de limpia de canal.

Como trabajo previo en la zona, realice ascensiones a los sitios de los volcanes Colorado (5765 msm), dentro de la segunda etapa de regularización de tierras indígenas (DATURA Ltda. Consultores), y Lullaillaco (6739 msm), dentro de una expedición deportiva del grupo de tecnificación de la Federación de Andinismo de Chile, ambos en 2003. Esta información se complemento con los trabajos de Sebastián Ibacache (2007) en el volcán Panire (5946 msm), Cristian Vitry en la puna atacameña y el grupo de Johan Reinhard y Constanza Ceruti en el volcán Lullaillaco desde 1999.

El procedimiento para calcular los acimutes, declinaciones y fechas del registro solar se realizó gracias a las formulas proporcionadas por el Dr. Stanislaw Iwaniszewski¹⁰, apoyados por la utilización de del software astronómico *Starcalc 5.72*. El análisis gráfico se realizó con la carta solar para Antofagasta de Hellmuth Stiven (1972)¹¹, la fotografía en 360° (editor de imágenes *Photoshop*)¹² y el programa *Google Earth*.

Esta investigación cuenta con el apoyo permanente de la Escuela Nacional de Antropología e Historia, a través de la Coordinación del Posgrado en Arqueología y CONACYT México. Del antropólogo R. Tom Zuidema (University of Illinois, Urbana-Champaign, USA). Del investigador en arqueoastronomía Patricio Bustamante (Taller Taucan, Chile. Investigador Asociado *The Alamos National Laboratory*, USA). Del licenciado en arqueología Carlos Uribe (Universidad de Chile). Del andinista Claudio

¹⁰ Utilizo el Sistema de Referencia del Horizonte, definido como un sistema para localizar objetos celestes que utiliza el horizonte como plano de referencia principal, y el cenit y nadir como sus polos fundamentales. Las coordenadas se dan en acimut y altura (Aveni 2005:141).

¹¹ La carta solar es un gráfico en 2D que representa la trayectoria del Sol durante todo el año (acimut y altura), vista desde un plano horizontal.

¹² Bustamante, P. © 141.465

Lois (Club Andino Pamir, Santiago de Chile). De la Corporación Nacional Forestal de la Región de Antofagasta. Y de la comunidad Atacameña de Socaire.

Los resultados de la investigación se encuentran supeditados por el enfoque teórico y la disponibilidad de bibliografía especializada disponible; las condiciones del terreno (visibilidad, acceso y distancia); al factor tiempo (días en campo, archivo y laboratorio); los agentes naturales (altitud, falta de oxígeno relativa y deslizamientos de terreno); así como con el capital humano y económico invertidos.

La naturaleza de este trabajo: realización de entrevistas, observaciones de horizonte y reconocimiento arqueológico en superficie en *mayllkus* atacameños (cerros tutelares), implicó la solicitud de permisos respectivos con la comunidad de Socaire, a través del presidente y la junta de vecinos.

El reconocimiento arqueológico, sólo incluyó la descripción del material en superficie, arquitectura y sistema de caminos. No incluyó el levantamiento de material, excavación o pozos de sondeo, sin embargo, en todo momento se dio cuenta al Consejo de Monumentos Nacionales de Chile¹³, al Departamento de Antropología, Universidad de Chile¹⁴, y al Museo Arqueológico R. P. Gustavo Le Paige, San Pedro de Atacama¹⁵.

La comunidad de Socaire en conjunto con la Corporación Nacional Forestal (CONAF) está a cargo de la administración de la Reserva Nacional Los Flamencos, dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas¹⁶. Por tal motivo, cualquier trabajo científico en la zona de laguna y volcán Miñiques necesita de una autorización y elaboración de informes oficiales.

Pauta Básica de Entrevista

1.- Con respecto al calendario ¿Cómo, cuándo y por que?

- Apertura de la tierra (1 de agosto)
- Fechas de siembra y cosecha (especificar cultivos)
- Cambio de cargos (jueces y repartidor de aguas)
- Fiestas de santos (San Bartolomé, Santa Bárbara, San Antonio y Santiago)

¹³ www.monumentos.cl

¹⁴ <http://www.facso.uchile.cl/pregrado/antpregrado.html>

¹⁵ <http://www.ucn.cl/>

¹⁶ <http://www.conaf.cl/conaf/index.html>

- Importancia de los solsticios
 - Carnaval (fines de febrero - inicios de marzo)
 - Floreo de los animales y San Juan (24 de junio)
- 2.- Con respecto a los cerros ¿Cómo, cuándo y por que?
- Cerros y fenómenos climáticos asociados
 - Relación de los cerros y el sistema de riego
 - Relación de los cerros, la división social y productiva (propiedad de la tierra)
 - Género y dirección de cada cerro (línea de convido)
 - Identificación de topoformas
 - Conceptos de *mayllku*, adoratorio y *huaca*
- 3.- Con respecto a Socaire ¿Cómo, cuándo y por que?
- Categorías de arriba y abajo, izquierda y derecha
 - Limpia de canal y *talatur*
 - Relaciones de parentesco y calendario agrícola
 - Relación con Peine
- 4.- Con respecto a las observaciones astronómicas ¿Cómo, cuándo y por que?
- Observación solar
 - Observación lunar
 - Observación estelar (planetas, Vía Láctea y constelaciones oscuras)
 - El horizonte y el cenit

Marco Legal

La realización de trabajos y estudios de interés público o privado, tienen como efecto colateral la raramente constituyen construcciones de tipo monumental, sino más bien pequeñas estructuras o restos materiales en apariencia insignificantes. Estos sitios, poseen un valor científico y patrimonial elevado, protegido por la constitución chilena bajo la Ley de Monumentos Nacionales y leyes relacionadas.

La **Ley Chilena de Monumentos Nacionales Nº 17.288**, es clara en indicar que:

“Son monumentos nacionales y quedan bajo tuición y protección del Estado, los lugares, ruinas, construcciones u objetos de carácter histórico o artístico; los

enterratorios o cementerios u otros restos de los aborígenes; las piezas u objetos antropológicos, arqueológicos, paleontológicos, o de formación natural, que existan bajo o sobre la superficie del territorio nacional o en la plataforma submarina de sus aguas jurisdiccionales y cuya conservación interesa a la Historia, al Arte o la Ciencia...”. En sus artículos 11 y 12 se determina que “los monumentos nacionales quedan bajo el control y supervigilancia del Consejo de Monumentos nacionales, sean de propiedad pública o privada y todo trabajo de conservación debe ser previamente autorizado”.

En el caso concreto de los recursos arqueológicos, el Artículo 21 se declara que: “por el solo ministerio de la Ley son monumentos arqueológicos de propiedad del estado los lugares, ruinas, yacimientos y piezas antropoarqueológicas que existan sobre o bajo la superficie del territorio nacional”. Cuya destrucción esta además penalizada por la Ley.

La **Ley Nº 19.300 Sobre Bases Generales del Medio Ambiente**, define en su artículo 1, letra K, impacto ambiental:

“Como la alteración del medio ambiente, provocada directa o indirectamente pro un proyecto o actividad en un área determinada”.

En su artículo 10, enumera los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental. Finalmente, termina estableciendo en su Artículo 11 que:

“Los proyectos o actividades enumeradas en el artículo precedente requerirán la elaboración de un estudio de impacto ambiental, si generan o presentan, a lo menos, una de las siguientes características o circunstancias” [y en su letra F estipula]: “alteración de monumentos, sitios con valor antropológico, arqueológico, histórico y, en general, los pertenecientes al patrimonio cultural”.

El tercer y último cuerpo legal es la **Ley Nº 19.253 Sobre Pueblos Indígenas**. Ésta establece en su artículo 28, que:

“El reconocimiento, respeto y protección de las culturas e idiomas indígenas contemplará... F) La promoción de las expresiones artísticas y culturales y la protección del patrimonio arquitectónico, arqueológico, cultural e histórico indígenas”.

De allí que la comunidad de Socaire sea reconocida como parte de la etnia Atacameña o Likan Antai¹⁷:

Título II, Párrafo 1°, Artículo 12° "... sobre la propiedad de la tierra".

Título II, Párrafo 1°, Artículo 19°: "Los indígenas gozaran del derecho a ejercer comunitariamente actividades en los sitios sagrados o ceremoniales, cementerios, canchas de guillatún, apachetas, campos deportivos y otros espacios territoriales de uso cultural o recreativo, que sean propiedad fiscal".

A continuación, desgloso algunos conceptos relacionados con la astronomía cultural dentro de la metodología y plan de trabajo.

3.0. LA ASTRONOMÍA CULTURAL

La astronomía cultural se refiere al estudio de la relación ser humano y la astronomía, dentro de un contexto o procesos culturales. Es parte de la disciplina astronómica¹⁸, que incluye además a la astronomía física (astronomía tradicional) y a la astronomía biológica (cronobiología). Incluye como subdisciplinas a la arqueoastronomía o estudio de la astronomía en sociedades pasadas, la etnoastronomía o estudio de la astronomía en sociedades nativas contemporáneas, la socioastronomía o estudio de la astronomía en sociedades contemporáneas y/o urbanas, y la historia de la astronomía referida al estudio de los subsistemas culturales ideológico-simbólico (Iwaniszewski 1991).

Como disciplina, es relativamente reciente y tiene impulso con la creación de la SEAC (*European Society for Astronomy in Culture*) en 1992, la que ayudo a generar puntos de vista en común con respecto al estudio de la astronomía en la cultura con seminarios, congresos y trabajos conjuntos, principalmente en el viejo mundo (Iwaniszewski 1995:20-21).

Tiene sus orígenes en la llamada arqueoastronomía, definida como una interdisciplina que combinaba el análisis cuantitativo de la astronomía con el enfoque descriptivo de las ciencias sociales como la arqueología, la historia y etnografía. Su fin,

¹⁷ http://www.uta.cl/masma/patri_edu/PDF/LeyIndigena.PDF (accesado el 30 de abril de 2010).

¹⁸ La astronomía (del griego: αστρονομία = άστρον + νόμος, o "ley de las estrellas") es la ciencia que se ocupa del estudio de los cuerpos celestes, sus movimientos, los fenómenos ligados a ellos, su registro y la investigación de su origen a partir de la información que llega de ellos a través de la radiación electromagnética o de cualquier otro medio. <http://es.wikipedia.org/wiki/Astronom%C3%ADa> (accesado el 30 de abril de 2010).

estudiar los sistemas astronómicos del pasado, a partir de aspectos espacio-temporales específicos, combinando estudios de simbolismo y precisión astronómica (Aveni 2005; Galindo 1994).

“Archaeoastronomy is the science that attempts to identify archaeological or historical features (such as architectural remains or burial orientations) in relation to celestial bodies and phenomena. Archaeoastronomy reads the “celestial” aspects of past worldviews from patterns in the archaeological record (landscapes included). In doing so, archaeoastronomy uses the tools and concepts of modern astronomy that enable us to reconstruct in detail ancient skies. Astronomical reconstructions of ancient skies, when compared with other paleoenvironmental reconstructions, are among the most detailed and reliably ones. Finally, it is easier to study associations between material record and the sun, moon, planets or stars than to analyze more intangible features in the landscapes (Ruggles and Saunders 1993:910)” (Iwaniszewski 2006:4).

En 1973, un grupo de astrónomos, arqueólogos, antropólogos, arquitectos e historiadores se reúnen en México para la primera conferencia internacional dedicada al tema de la arqueoastronomía, llamada “Archaeoastronomy in PreColumbian América”. En 1974, la *Royal Society and British Academy* publica los resultados de otra conferencia *The Place of Astronomy in the Ancient World*. Al menos desde la década de 1980, con la aparición de dos revistas especializadas en estos temas, *Archaeoastronomy Bulletin* y *Archaeoastronomy*, que se opta dentro de los investigadores de habla inglesa y por extensión en las demás lenguas académicas, por el término “arqueoastronomía” para referirse a esta nueva interdisciplina (Belmonte 1999:24, 26).

Con respecto a las taxonomías de clasificación de los sistemas astronómicos, existen al menos tres propuestas. Criticadas pues ninguna explica los procesos sociales entre un estado y otro, la poca o nula atención a la observación del cielo en sociedades no occidentales y por la premisa positivista de la concepción de una astronomía científica (Iwaniszewski 2009b:28-29):

La **primera** de M. Berthelot (1949) “Historia de las Religiones”.

- Bioastral: asociación de categorías terrestres a cuerpos celestes.

- Astrobiológica: aparición de observadores del cielo a tiempo completo.
La **segunda** de Aaboe (1974) y su teoría de la complejidad.
- Astronomía científica: con una etapa menos avanzada (astronomía del agricultor y pastor), y una más avanzada (conocimiento de los ciclos combinados de los astros).
- Astronomía científica: descripción matemática de los fenómenos celestes.
La **tercera** de Jaschek (1997), quien plantea que el crecimiento del conocimiento astronómico está estrechamente vinculada con el desarrollo de la organización social.
- Astronomía de sociedades cazadoras-recolectoras.
- Astronomía de sociedades agrícolas y sedentarias simples.
- Astronomía de sociedades agrícolas estructuradas.
- Astronomía de sociedades con estado: China, Mesopotamia, Meso y Andino América
- Astronomía de sociedades complejas: movimientos sinódicos y eclipses.
- Astronomía de sociedades complejas progresivas.

De allí, entender a la arqueoastronomía como una interdisciplina tiene la desventaja de ser tildada de superficial (Krupp 1981:56), ya que no necesariamente involucra una cooperación entre científicos de distintas áreas, Mientras, que si se le considera como parte de la historia de la astronomía, existe también el problema de definir el carácter científico de la observación. Ante lo cual, se propone a la arqueoastronomía como antropología y parte de la astronomía cultural (Iwaniszewski 1995:18-20)¹⁹.

En un trabajo posterior, el mismo Iwaniszewski (2009b:29-32), sintetiza en siete puntos sus críticas al concepto de arqueoastronomía:

- Se convirtió en una ciencia ecléctica, que adopto metodologías de distintas partes.
- La utopía de pensar a la misma como una ciencia interdisciplinaria.

¹⁹ Ruggles y Saunders (1993), influenciados por la corriente pos procesual británica - que considera a la cultura como un sistema de ideas - proponen entender al cielo como un recurso cultural. A partir de la evidencia antropológica, etnohistórica y arqueológica, pretenden deducir como las culturas pasadas y modernas percibían el cielo, y como ésta se integra a su percepción de mundo o cosmovisión (Iwaniszewski 1995:21).

- Que nunca llego a conformar una teoría unitaria, es decir, nunca existió un campo de discusión común entre las ciencias duras y las humanidades.
- Critica a la arqueoastronomía británica por justificar sus planteamientos en herramientas estadísticas de análisis, alejada de las dimensiones cognitivas y simbólicas asociados a procesos sociales.
- Ciencia cognitivamente estéril y científicamente invisible.
- Énfasis en la separación entre sujeto y objeto (modelo de las ciencias naturales)
- Critica abiertamente a A. Aveni, por el concepto de “arqueoastronomía” como el estudio del alcance y la práctica de la astronomía en las civilizaciones antiguas. Muy parecida a la definición clásica de la historia de la astronomía.

Iwaniszewski plantea que la arqueoastronomía por sí sola no era capaz de inferir los sistemas cognitivos e ideológicos de sociedades pasadas, por cuanto tenía que echar mano a la teoría social. En este contexto, entrega otra definición, y define a la astronomía cultural como el estudio de los mecanismos mediante los cuales el hombre llega a conocer los fenómenos astronómicos, analiza sus sistemas de conceptualización y representación de ellos, o investiga, en el proceso de la relación social, como el cielo y su contenido adquieren la capacidad de representar un conjunto de ideas sobre la vida social (2009b:33).

Se distancia de posiciones materialistas que plantean que los objetos en el cielo son el determinante básico de la vida social y de modelos de explicación causal de las ciencias exactas y naturales. Crítica, que éstas debieran explicar y entender la influencia de los eventos celestes en la vida social de los seres humanos. Y de posiciones simbólico-estructuralistas, que utilizan la oposición naturaleza-cultura para analizar los ritos, mitos, taxonomías culturales, al cuerpo humano, etc., basados en diferenciaciones conceptuales o atributos adscritos a objetos, eventos, procesos o fenómenos (Iwaniszewski 2009b:33).

Ambas posturas, estarían dando por sentado la dicotomía entre naturaleza y cultura, lo que según el autor constituye una desventaja comparativa con otros enfoques teóricos. Como alternativa, Iwaniszewski plantea la inclusión del “cielo” en el discurso social. Es decir, como una categoría social y cultural que permite abordar el estudio del cielo no como un ente abstracto, sino como el resultado de una

construcción cultural, que participa activamente en la vida social en cuanto participa de los mismos principios de división y percepción que otros objetos, persona, eventos y procesos. En otras palabras, los cuerpos celestes se convierten en agentes o actores sociales, que mediante la actuación marcan y negocia su status, rango, clase, edad y género, como parte de una campo/espacio social. De allí, que los astros - al igual que las montañas - tendrán status de agentes dotados de un *habitus*²⁰, p.ej. el género, clasificados dentro de las mismas categorías de lo social del resto de la realidad (2009b:34-35).

Dentro de la teoría de la astronomía en la cultura, autores como Hardman y Hardman (1992) desarrollan el concepto de los “intrasolstice alignments”, que refiere a los alineamientos de distintos elementos entre puntos solsticiales, vinculados generalmente con la posición del Sol en el horizonte y un evento cultural como la cosecha o la siembra. Los Hopi, del suroeste de Estados Unidos, dan un claro ejemplo de este tipo de observaciones:

“Old Talasemptewa, who was almost blind, would sit out on the housetop of special Sun Clan house and watch the sun progress toward its summer home. He unties a knot in a string for each day. When the sun arose at certain mesa peaks, he passed the word around that it was time to plant sweet corn, ordinary corn, string beans, melons, squash, lima beans, and other seeds. On a certain date he would announce that it was too late for any more planting” (Simmons, 1942:58, en Hardman y Hardman 1992:153).

Este fenómeno, podría explicar la existencia de un posible marcador solar en el volcán Chiliques para la fiesta de San Bartolomé (24 de agosto), asociado al mes de la siembra en Socaire. Cabe destacar, que Chiliques además es la montaña principal dentro de la ceremonia de limpia de canal al invocársele como proveedora del recurso hídrico proveniente de todas las otras montañas del sector. De acuerdo con los autores, estas prácticas culturales estarían asociadas con el concepto de línea de visión (Hardman y Hardman 1992:152), ya referido en el capítulo anterior, y que etnográficamente se reconoce como línea de “convido a los cerros”.

²⁰ El cielo como parte del entorno físico, estaría dotado de texturas y fisuras diferenciales utilizados para crear prácticas sociales, siguiendo las ideas de Bourdieu y su sentido de la distinción (1999).

En este trabajo, el concepto del *Linear Solar Observatory* (Observatorio Solar Lineal), refiere a un sistema que permite identificar los puntos solsticiales y otros puntos relevantes entre los solsticios o cercanos “a” (Hardman y Hardman 1992). Aquí, se presupone la dificultad de determinar con exactitud el día del solsticio, por cuanto el disco solar tiene un movimiento casi imperceptible al ojo humano. Más aún, si no existe un marcador preciso para el mero día del solsticio, p.ej. observación solsticial desde cerro Tepeyac hacia Papayo en la cuenca de México (Galindo y Montero 2000).

Aquí, un alineamiento pre-solsticial se entiende como la técnica utilizada para determinar el día exacto del solsticio mediante un marcador en el horizonte, a una distancia considerable (medido en días) de la posición del Sol para cada solsticio. Esto permite, luego determinar la unidad solsticial o distancia en el horizonte - oriente o poniente – entre un solsticio y otro (Hardman y Hardman 1992:155, 157).

Para ejemplificar, retomo el mito de aparición de la Virgen de Guadalupe en el cerro del Tepeyac, entre el 9 y el 12 de diciembre de 1531²¹. Allí, la proyección de una línea visual hacia el horizonte oriente, para el día 12 de diciembre en calendario gregoriano (última aparición en la mañana), coincide con la posición del Sol en la falda sur del cerro del Papayo, 9 días antes del solsticio de invierno (sin marcador visible desde la posición de Tepeyac). Trabajos previos (Zimbrón 1997), señalan que la fiesta de la Virgen de Guadalupe, estaba relacionada con la veintena del calendario prehispánico cercana al solsticio y con la diosa prehispánica Tonantzin (nuestra venerada Madre, en *náhuatl*). De allí, que se planteemos la existencia de un marcador pre-solsticial, no siendo necesaria una observación desde cerro Zacahuizco (Zimbrón y Moyano 2010).

La siguiente secuencia (Linear Solar Observatory), se define por niveles de complejidad dentro de la teoría desarrollada por Hardman y Hardman (1992:157-170):

- Etapa I: se fija un territorio amplio para realizar observaciones astronómicas.
- Etapa II: mayor precisión, se determina el norte astronómico, cuenta de días y orientación de las viviendas.
- Etapa III: se determina la posición del Sol para los solsticios, un área de observación y la distancia entre los solsticios.

²¹ Fechas en calendario juliano, antes de 1582.

- Etapa IV: se utiliza el horizonte para marcar fechas del calendario, uso de marcadores artificiales, observaciones pre-solsticiales y se determina el tiempo del solsticio.
- Etapa V: se agregan los alineamientos inter-solsticiales (buena visibilidad), múltiples marcadores y se logra el conocimiento del año, a través de los momentos dentro del calendario agrícola.
- Etapa VI: emergencia de sistemas complejos, aparece el equinoccio como la distancia entre los dos puntos solsticiales. Concilio de Nicea, 325 d.C.
- Etapa VII: utilización de edificios como instrumentos astronómicos (cenit y horizonte), p.ej. El Caracol en Chichen Itza, Yucatan, México.
- Etapa VIII: uso de instrumentos como el gnomon y la regla, para medir la posición del Sol, y posiblemente la Luna, a lo largo del día y el año -base del sistema posicional-.

Por desgracia, hoy el estudio de la astronomía en la cultura ha dado espacio para el desarrollo de diversas teorías relacionadas con profecías apocalípticas, cambios climáticos y procesos de legitimación de nacionalismos en algunos lugares de Europa y América latina. Siguiendo una postura evolucionista, se plantea que los sistemas astronómicos están relacionados con la idea de progreso y objetividad (siguiendo a Habermas 1996). Este discurso nacionalista, hoy se orienta a la apropiación de monumentos y sitios arqueológicos, que eventualmente podrían tener un sentido astronómico, para justificar supuestas superioridades intelectuales de unos pueblos sobre otros, p.ej. el caso celta en Gran Bretaña. O peor aún, los movimientos *New Age* y neo chamánicos en la zona Maya de México y Guatemala, que intentan retomar tradiciones indígenas bajo conceptos de la explicación de mundo postmodernos y neo occidentales que poco aportan al conocimiento de los sistemas astronómicos del pasado o de sociedades indígenas contemporáneas (Iwaniszewski 2009c)²².

²² Películas como *Apocalypto* (Icon Entertainment 2006) y *2012* (Columbia Pictures 2009), EE.UU., relacionan fenómenos astronómicos (eclipse) y calendáricos (fin de la cuenta larga Maya), como señales del fin de ciclos y eras cósmicas. Temas que superan a la misma realidad, generando el desconcierto de las masas ávidas de ideas fantásticas sobre el pasado y el conocimiento del cielo.

Astronomía y Patrimonio Cultural

La astronomía, como producto cultural, adquiere hoy en día el mismo valor que cualquier estilo cerámico, textil o arquitectónico. De allí, el interés por la preservación de distintos sistemas astronómicos antiguos, indígenas y modernos (Iwaniszewski 2006:2).

La Convención del Patrimonio Mundial de la UNESCO en 1972 creó un instrumento internacional que reconoce y protege el patrimonio natural y cultural de valor universal excepcional, incorporando la categoría de “paisaje cultural” (Rössler 2002). De esta manera los Paisajes Culturales constituyen, todo resultado combinado del hombre y la naturaleza, incluyendo una variedad de manifestaciones que incluyen²³:

- Paisajes claramente definidos, diseñados y creados intencionalmente por el hombre, p.ej. jardines y parques.
- Paisajes evolutivos, resultantes de condiciones sociales, económicas, administrativas y religiosas, resultado de una respuesta a su medio ambiente. Donde se diferencian en: a) paisaje fósil o relictos, cuyo proceso evolutivo llegó a su fin; y b) paisaje continuo en el tiempo, cuyo papel sigue siendo activo en la sociedad contemporánea, ligado a cualquier forma de vida tradicional.
- Paisajes asociativos, aspectos religiosos, artísticos o culturales relacionados con el medio ambiente.

²³ <http://whc.unesco.org/en/culturallandscape#2> (accesado el 1 de mayo de 2010).

CRITERIOS CULTURALES	CATEGORÍAS DE PAISAJES CULTURALES
(i) Obra maestra del genio creativo humano	(i) Los paisajes claramente definidos, diseñados y creados intencionalmente por el hombre. Estos comprenden los jardines y los parques;
(ii) Intercambio de valores humanos durante un periodo en un área cultural en el diseño paisajístico	(ii) Los paisajes evolutivos (u orgánicamente desarrollados) resultantes de imperativos sociales, económicos, administrativos, y/o religiosos, que se han desarrollado conjuntamente y en respuesta a su medio ambiente natural. Se dividen en dos sub-categorías: - Un paisaje fósil / relictivo, en el cual el proceso evolutivo llegó a su fin; - Un paisaje continuo en el tiempo, que sigue teniendo un papel social activo en la sociedad contemporánea, conjuntamente con la forma tradicional de vida;
(iii) Un testimonio único de una civilización	
(iv) Ejemplo de un tipo de paisajismo que ilustre una etapa significativa	
(v) Ejemplo de hábitat o establecimiento humano tradicional o del uso de la tierra	
(vi) Asociados directamente o tangiblemente con tradiciones vivas, ideas, obras artísticas o literarias...	(iii) La categoría final es el paisaje cultural asociativo de los aspectos religiosos, artísticos o culturales relacionados con los elementos del medio ambiente.

Criterios culturales y categorías de paisajes culturales (Rössler 2002:45).

Dentro del Año Internacional de la Astronomía 2009²⁴, la *International Astronomical Union* (IAU) y UNESCO han decidido incorporar a la Lista de Patrimonio de la Humanidad los bienes, sitios y paisajes con relevancia astronómica y arqueoastronómica. Esta iniciativa nace en 2004, después de la 28th session of the *World Heritage Committee* y la *World Heritage and Monuments of Astronomy*, Venecia (UNESCO-ROSTE), e incluye los siguientes elementos:

- Bienes y lugares que, por su concepto y/o situación del medio ambiente tienen importancia en relación con los objetos celestes o eventos astronómicos.
- Representaciones del cielo y/o objetos celestes o eventos astronómicos.
- Observatorios e instrumentos de medición.
- Bienes y lugares vinculados con la historia de la astronomía.

Dentro de estas categorías, se propone una metodología básica para la identificación de bienes culturales con valor astronómico o arqueoastronómico, que se resume en la siguiente tabla:

²⁴ <http://www.astronomy2009.org/general/> (accesado el 30 de noviembre de 2009).

	Tangible immovable heritage	Tangible movable heritage	Intangible heritage
Property / instrument	Architecture; in situ archaeological evidence Fixed instruments	Plans Moveable artifacts Moveable instruments	Scientific knowledge and practical/technical knowhow, rules of use and maintenance History of the site
Results of scientific activities / Iconography	Stone carving, wall painting, paleography... Symbolic representations	Accounts of observations, printed and digital data, sky maps...	Calculations and theories
Socio-cultural applications and uses	Architectural, urban plans and landscapes constructed using astronomy	Archives, drawings, maps and plans	Cosmology, calendars, ideology, prediction of the future (whether rational or irrational from modern perspectives)

(ICOMOS-IAU 2009:5)

En este contexto, cada estudio de caso será tomado en cuenta por la UNESCO, a partir de su valor de especificidad, originalidad y valor universal, desde el punto de vista astronómico. En el caso particular de Socaire, dentro de la subcategoría de “Indígenas Precolombinos de América” (ICOMOS-IAU 2009:5).

3.1. LA OBSERVACIÓN A SIMPLE VISTA

La observación de la bóveda celeste no implica el uso de ningún instrumento como el telescopio o un par de binoculares²⁵. El Sol, la Luna, los planetas y las estrellas más brillantes son visibles a ojo desnudo²⁶. Aquí, defino al ojo y el cerebro humano

²⁵ En este trabajo, por razones de tiempo, distancia y recursos, se complementó la observación directa con la medición y cálculo de horizontes (ver final de este capítulo).

²⁶ La observación del Sol, la Luna, las estrellas y determinadas constelaciones era parte del manejo y control del calendario agrícola entre los incas. Allí, la existencia de especialistas, que llevaban la cuenta de los días, eran llamados camayoc, éstos eran “... funcionarios... que entendían exclusivamente de realizar esas observaciones. En las provincias fueron levantados observatorios semejantes [pilares] que señalaban el tiempo de la siembra según lo que correspondía al lugar...” (Jesuita Anónimo 1964 Tomo II: 345, en Williams 1992:102). A éstos, Guamán Poma de Ayala los retrata como el “astrologo inca” y/o el

como los instrumentos astronómicos por excelencia, utilizados en conjunto con obras humanas y naturales como la arquitectura (muros, ventanas y hornacinas), el gnomon, pozos de agua, agujeros en la tierra, cavernas, paneles de arte rupestre, torres, apachetas y elementos de la topografía, utilizados y/o transformados culturalmente como marcadores calendáricos de cenit (gnomon) y horizonte²⁷.

El ojo humano (lat. *ocūlus*) es un órgano que detecta la luz, por lo que es la base del sentido de la vista. Se compone de un sistema sensible a los cambios de luz, capaz de transformar éstos en impulsos eléctricos. Mientras el cerebro (lat. *cerebrum*), es uno de los centros nerviosos constitutivos del encéfalo, existente en todos los vertebrados y situado en la parte anterior y superior de la cavidad craneal. Ambos, constituyen los soportes físicos de la percepción (lat. *perceptiō*, *-ōnis*) definida como: 1.f. Acción y efecto de percibir, 2.f. Sensación interior que resulta de una impresión material hecha en nuestro sentidos, 3.f. Conocimiento, idea (RAE)²⁸.

Existen dos tipos de observaciones: las que consideran el horizonte como referencia y las que no lo hacen. Dentro de la primera categoría entran salida y puesta de estrellas, salida y puesta del Sol, salida y puesta de la Luna, salida y puesta de planetas, salida y puesta heliaca de estrellas y planetas. En la segunda se observan meses sidéreos y sinódicos de la Luna, pasos del Sol por el cenit, eclipses, cometas y la Vía Láctea. Mientras que los lugares desde donde se realiza la observación se dividen en lugares abiertos, elementos culturales construidos y/o espacios urbanos (Vilches 1996:23).

La utilización de sofisticados instrumentos de medida o la simulación de eventos astronómicos con planetarios virtuales, nunca remplazarán a una observación directa. Sólo el trabajo en terreno permitirá registrar detalles de luz y sombra, elementos llamativos del paisaje y detalles de la observación en distintas épocas del año (Rafael Zimbrón, comunicación personal 2010).

“secretario”. Ambos, utilizan un quipu o sistema mnemotécnico de cuerdas de lana o algodón y nudos, de uno o varios colores, desarrollado en los Andes, para llevar la contabilidad y el control de la producción estatal. Según Zuidema (1989), también habría servido, junto con el sistema de ceques, para coordinar el año solar y los meses lunares siderales dentro del sistema de calendario Inca.

²⁷ Marcador: construcción(es) humanas o rasgos naturales en el paisaje utilizados (desde un punto de observación) para establecer la posición del Sol en el horizonte asociado con un evento cultural (Hardman y Hardman 1992:154).

²⁸ <http://www.rae.es/rae.html> (accesado el 30 de mayo de 2010).

Los dispositivos modernos por mucho que amplíen nuestra visión y percepción del cosmos, también alteran la interpretación del mismo. Reconstruir un sistema astronómico del pasado, a través del estudio de un calendario requiere el conocimiento de la geometría celeste y el sistema de coordenadas que constituyen el lenguaje básico de la astronomía posicional, lo que no implica que en sociedades no modernas (en el sentido amplio), p.ej. las comunidades indígenas del norte de Chile, hicieran uso de los conceptos incluidos en este apartado y a lo largo de toda la tesis (Aveni 2005:73).

Algunos fenómenos que afectan la precisión de las observaciones astronómicas son:

- **Precesión de los equinoccios:** corresponde al bamboleo del eje de rotación de la Tierra, semejante al cabeceo de los trompos, en sentido contrario a su movimiento orbital, causado por efectos de la gravedad del Sol y la Luna sobre la zona ecuatorial. Tiene un ciclo de 26000 años, aproximadamente, generando un lento y permanente cambio en la posición de las estrellas vistas desde la Tierra. Éste no afecta al Sol (interés central de esta tesis), la Luna y los planetas en periodos de tiempo cortos, sin embargo, en periodos largos produce leves cambios en sus posiciones de orto y ocaso²⁹, en relación a las estrellas fijas. El ángulo entre la eclíptica y el ecuador ha venido disminuyendo de forma sostenida en aproximadamente 40 segundos de arco por siglo. De modo que la oblicuidad, ha disminuido alrededor de $0,5^\circ$ entre el año 2000 a.C. y la época actual, lo que basta para producir un cambio apreciable en el acimut de salida y puesta del Sol en los últimos 5000 años (Aveni 2005:142-144).
- **Refracción atmosférica:** corresponde a la distorsión que produce la atmósfera de la posición real de una estrella, cuya luz tiende a la perpendicular a la superficie del globo en el punto donde se sitúa un observador. El acimut teórico calculado para una estrella puede pasar el $\frac{1}{2}^\circ$ (diámetro de la Luna) cuando el objeto está sobre el horizonte, diferencia que disminuye a medida que el astro está más alto en el cielo, siendo de tan sólo pocos segundos de arco a una altura de 30° . Por otra parte, las observaciones sobre el nivel del mar, donde la atmósfera es más delgada, el efecto de refracción será menor a cualquier altitud

²⁹ Salida y puesta, respectivamente.

por arriba del horizonte, de allí que la altitud sea importante para los cálculos de acimut y altura. La refracción es mayor a: 1) latitudes altas, p.ej. horizonte astronómico $0^\circ = 12$ minutos de arco en el valle de México (20°N) y 1° (dos diámetros lunares) en Stonehenge (51°N) y 2) sí las estrellas salen o se ponen cercano a los punto norte y sur del horizonte (Aveni 2005:144-147).

- **Extinción:** o absorción de la luz por parte de la atmósfera, corresponde a la disminución del brillo aparente de una estrella por efectos de: cantidad de polvo, luz artificial y contaminación atmosférica. No afecta directamente al Sol, la Luna o estrellas brillantes, de allí la utilización de estas para determinar la mayor parte de las orientaciones astronómicas. Como ejemplo, Alción de magnitud 2.9^{30} , la estrella más brillante de las Pléyades, no es visible a alturas menores de 3° . La altura del horizonte de aparición o desaparición de una estrella es proporcional a su magnitud estelar. Objetos brillantes como Venus, Júpiter, Sirio, Canopo y Arturo (magnitud cero o menos) son visibles hasta el horizonte astronómico. Cástor y Pólux (de primera magnitud) no son visibles a menos de 1° . Mientras estrellas de segunda magnitud desaparecen cerca de 2° de altura. Al igual que con la refracción, el cambio de acimut es mayor a latitudes mayores (Aveni 2005:147-149).
- **Altura del horizonte:** se define como la diferencia en grados con respecto al horizonte ideal o astronómico (0° de elevación), distante a 90° del cenit del observador, producido por montañas y valles en el horizonte local. Las elevaciones que rebasan el horizonte astronómico, desplazan los acimutes de orto y ocaso hacia el norte (en el hemisferio sur), mientras que las depresiones generan el efecto opuesto. La diferencia de acimutes, aumenta a mayor latitud y

³⁰ La magnitud, m , aparente de un objeto celeste, es la medida del brillo aparente o cantidad de luz que se recibe del objeto. No se corresponde con el brillo real, ya que un objeto muy brillante puede aparecer débil, si está lejos. La relación en la cual el brillo aparente cambia, mientras que la distancia de un objeto aumenta, es calculada por la ley de la inversa del cuadrado. La magnitud absoluta, M , de un objeto, es la magnitud aparente que tendría si estuviera a 10 parsecs. La escala de magnitud aparente tiene su origen en la práctica helenística de dividir las estrellas visibles al ojo desnudo en seis magnitudes. Las estrellas más brillantes son de primera magnitud ($+1$), mientras que las más débiles eran consideradas como sexta magnitud ($+6$), límite del ojo humano. http://es.wikipedia.org/wiki/Magnitud_aparente (accesado el 15 de mayo de 2010).

proximidad a los puntos norte y sur del horizonte, y es contrario al efecto de la refracción atmosférica (Aveni 2005:150-152).

A continuación describo los aspectos básicos del movimiento del Sol, la Luna, planetas y estrellas, dentro del contexto andino y la observación del cielo entre los incas, en particular.

El Sol

El Sol, saldrá todos los días por el este y se pondrá por el oeste. Como la Tierra gira en torno a él, siguiendo el plano de la eclíptica en la misma dirección que gira su eje, el Sol parecerá desplazarse a lo largo de la eclíptica de poniente a oriente, describiendo un círculo completo de 360° contra el fondo de estrellas, en un año trópico de 365.2422 días (valor moderno, siglo XX). Con respecto a las estrellas, el Sol se desplaza alrededor de 1°, dos veces su propio diámetro. En consecuencia, el patrón de constelaciones de fondo parecerá cambiar de posición relativa con respecto al Sol, y como nosotros seguimos el tiempo solar, cada día veremos salir a una misma estrella unos minutos antes. El resultado de estos movimientos combinados, es que las posiciones de salida y puesta del Sol variaran ligeramente día tras día - de constelación en constelación- generando un movimiento aparente utilizado culturalmente, en algunos casos, para la construcción y ajuste de calendarios de horizonte (Aveni 2005:84-85, 88-90).

Si se tiene un horizonte plano, en los equinoccios el Sol saldrá exactamente por el este (acimut 90°) y se pondrá por el oeste (acimut 270°)³¹ (Aveni 2005:90). Equinoccio corresponde al momento del año en que los días tienen igual duración que la noche, en todos los lugares de la Tierra a excepción de los polos. La palabra proviene del latín *aequinoctium* que significa “noche igual”. Se definen como los puntos de la esfera celeste, en la que el Sol cruza por el ecuador celeste en Aries y Libra. En este orden, el equinoccio de otoño, será el punto en que el Sol pasa del hemisferio sur al hemisferio norte (21 de marzo). Mientras que el equinoccio de primavera o *vernal*, será el punto en que el Sol pasa del hemisferio norte al hemisferio sur (22 de septiembre) (Aveni 2005:90, 139).

³¹ Acimut: distancia angular medida desde el punto norte hasta la base del círculo vertical de una estrella o a lo largo del horizonte y en dirección oriente (Aveni 2005:137).

Para el Perú, Garcilaso de la Vega entrega antecedentes discutibles sobre la observación del equinoccio y la cosecha del maíz en marzo. Menos discutibles para septiembre, en lo que refiere a la fiesta de la *Citua*, y también sobre la utilización de una estructura tipo gnomon, posiblemente un *ushnu*, utilizado por los incas para medir el paso cenital en agosto, llamados “asientos predilectos del sol”, que para la altitud de Quito, Ecuador, coinciden con los equinoccios astronómicos.

“También alcanzaron los equinoccios y los solemnizaron, (...) En el de marzo segaban los maizales del Cozco con gran fiesta y regozijo, particularmente el andén de Colcampata, que era como jardín del Sol. En el equinoccio de setiembre hazían una de las cuatro fiestas principales del Sol, que llamaban Citua Raymi, (...) para verificar el equinoccio tenían columnas de piedra riquísimamente labradas, puestas en los patios o plaças que había ante los templos del Sol. Los sacerdotes, cuando sentían que el equinoccio estaba cerca, tenían cuidado de mirar cada día la sombra que la columna hazía, (...) por la sombra que la columna hazía sobre la raya veían que el equinoccio se iba acercando; y cuando la sombra tomava la raya de medio a medio, desde que salía el Sol hasta que se ponía, y que a medio día bañava la luz del Sol toda la columna en derredor, sin hazer sombra a parte alguna, dezían que aquel día era equinoccial. Entonces adoravan las columnas con todas las flores, (...) sobre ellas la silla del Sol, y dezían que aquel día se asentava el Sol con toda su luz, de lleno en lleno, sobre aquellas columnas, (...) y es de notar que los Reyes Incas y sus amautas, que eran filósofos, assí como iban ganando las provincias, así iban experimentando que, cuando más se acercavan a la línea equinoccial, tanto menos sombra hazía la columna al mediodía, por lo cual fueron estimando más y más las columnas que estaban más cerca de la ciudad de Qitu...” (Garcilaso 1945:112 [1609], en Bauer y Dearborn 1998:64-66).

A medida que avanza el otoño, en el hemisferio sur, el Sol se desplaza al norte del ecuador, alcanzando su máxima declinación³² alrededor del 21 de junio, fecha del solsticio de invierno con una declinación de $+23\frac{1}{2}^{\circ}$ (Aveni 2005:90). Para la ubicación de Socaire (latitud $23^{\circ}35'28''S$, longitud $67^{\circ}52'36''W$) los cálculos para los ortos y

³² Declinación (δ): distancia angular medida del ecuador a una estrella a lo largo del círculo horario de la estrella. Se designa como positiva al norte del ecuador, como negativa al sur, y se mide en grados (Aveni 2005:138-139).

ocazos, aproximados, son de 64.64° y 295.36° , respectivamente³³. Al mediodía del 21 de junio, el Sol alcanza su menor altura³⁴, para comenzar su camino hacia el sur, cruzando el ecuador el 22 de septiembre, alcanzando su máxima declinación al sur ($-23\frac{1}{2}^\circ$) para el solsticio de verano el 22 de diciembre (Aveni 2005:90). Los acimutes calculados para esta fecha serán de 116.12° y 243.9° , para el orto y ocaso respectivamente³⁵.

Las fuentes, señalan que los incas realizaron la observación de los solsticios, fechas en las que conmemoraban fiestas dedicadas al *capac* Inca y al Sol: el Inti Raymi para junio y el Capac Raymi para diciembre.

El Inti Raymi o fiesta del Sol se celebraba para el solsticio de invierno, entre el 21 y el 24 de junio. Era la fiesta más importante dentro del año litúrgico incaico y consistía en tres días de ayuno, durante los cuales no se prendía fuego en el Cuzco. A ésta, llegaban los curacas (jefes locales) del imperio, vestidos con sus mejores galas y regalos para el Sol. La celebración principal se llevaba a cabo en la plaza de Haukaypata, allí el Inca y sus parientes cercanos esperaban de rodillas y descalzos la salida del Sol, al cual reverenciaban con los brazos abiertos y dando besos al aire. Los cantos rituales se acompañaban de la chicha (alcohol de maíz), que era servida en vasos de oro. El Inca, con su mano derecha ofrecía el alcohol al Sol derramando el líquido en un “tinajón de oro”, posiblemente parte del *ushnu* (Zuidema 2009), el cual estaba comunicado subterráneamente con el templo del Coricancha. Mientras, que con su mano izquierda bebía él y sus nobles. Se dice, que luego dirigían al templo del Sol, donde adoraban la imagen del Sol o *punchao*, al cual ataviaban con ricas ofrendas que incluían un a llamo negro. Éste, era sacrificado con su cabeza al oriente, al igual que la tradición actual en los Andes, ver Castro y Varela (2004), y se le sacaba el corazón y pulmones por el lado izquierdo. Ritual que iba acompañado del sacrificio de otras llamas, niños, quema de ofrendas y el encendido de una fogata con el reflejo del Sol en

³³ *Starcalc* 5.72 (21/06/2010).

³⁴ O altitud: distancia angular medida positivamente hacia arriba desde el horizonte hasta una estrella a lo largo de su círculo vertical (Aveni 2005:137).

³⁵ Los solsticios están asociados con las direcciones naturales en casi todas las culturas del mundo. Estos marcan las cuatro direcciones y los ciclos estacionales dentro de los conceptos de calendario y año. Mientras que los conceptos de este y oeste, derivan de la distancia media de los dos solsticios observados en el horizonte (Hardman y Hardman 1992:151).

un brazalete de oro, que simbolizaba la renovación del fuego (Galindo 1994:221, citando a Garcilaso de la Vega 1945 [1609]).

Otro dato, Guamán Poma de Ayala, señala que junio o Cuzqui Quilla era el mes de la búsqueda y de ceremonias como la *capac hucha*:

“... hazían la moderada fiesta del Ynti Raymi [festejo del sol] y se gastaua mucho en ello y sacrificaban al sol. Y enterraban al sacrificio llamado capa cocha [afrenta del Inka] que enterrauan a los niños inocentes quinientos y mucho oro y plata y mullo [concha]...” (1980:221 [1615]).

Aquí, queda clara la relación entre el solsticio de invierno y la renovación de los ciclos estacionales y la fertilidad, al incluir las ofrendas de oro, plata y *mullu* (spondylus), además de los sacrificios humanos, que en algunos casos también fueron realizados en la cumbre de montañas consideradas *huacas*.

Seis meses después, se celebraba el Capac Raymi o fiesta real durante el solsticio de verano, entre el 21 y el 24 de diciembre. Para esta ocasión, se horadaban las orejas de los jóvenes nobles que aspiraban a convertirse en guerreros, quienes mirando al este bebían y daban gritos en honor al Sol. En esta fecha, también se realizaban peregrinaciones que conducían la imagen del Huaina Punchao a una casa (templo) del Sol llamado Puquincancho, desde donde se observaba la salida del Sol el día del solsticio sobre una colina llamada Mutu, lugar de sacrificios para la fiesta del Inti Raymi (Zuidema 1980).

Guamán Poma de Ayala, entrega una buena descripción del mes de diciembre y el Capac Inti Raymi o festejo del señor Sol:

“Que en este mes hacía la gran fiesta y pascua solene del sol, que como dicho es, que de todo el cielo de la planetas y estrellas y cuanto ay, es rrey el sol y acá capac; capac que quiere decir rrey, ynti, sol, Raymi, gran pascua, más que Ynti Raymi. Y acá emos dicho de Coya Raymi, de la fiesta y pascua de la luna, quilla. Que en este mes hacía grandes sacrificios al sol, mucho oro y mucha plata y baxillas. Que entierran quinientos niños enosentes y niñas; lo entierran parado bibo con sus baxillas de oro y de plata y mucho mollo [concha] y ganados. Y después del sacrificio hazían grande fiesta; comían

y beuían a la costa del sol y dansauan taquíes [danza ceremonial] y grandemente de ueuer en la plasa pública del Cuzco y en todo el rreyno...” (1980:233 [1615]).

La oscilación rítmica de los puntos de salida y puesta del Sol en el horizonte local, permite el establecimiento de un calendario anual, que incluya como dispositivos de calibración cimás y portezuelos como indicadores del paso del tiempo. Una diferencia, si constituye la observación solar a grandes latitudes, donde el desplazamiento del Sol es considerable a diferencia de latitudes tropicales o cercanas a ellas.

Al menos para el Cuzco, hay referencias de pilares destinados a marcar la posición del Sol y posiblemente la Luna, como parte del sistema de *ceques*, en el horizonte para determinadas fechas del año.

El Jesuita Anónimo en su “Discurso de la Sucesión y Gobierno de los Ingas”, vincula la existencia de “cuatro pilares” con la cuenta de los meses lunares y la fecha de la siembra en algún momento del mes de agosto:

“La luna del mes de Agosto llamauan Tarpuyquilla. Este mes no entendían en otra cosa más de sembrar, (...) y este mes de Agosto entraua el Sol por medio de las dos torrecillas, de las quatro que por los Yngas estaua señalado...” (J. Anónimo 1906:158 [ca. 1570], en Bauer y Dearborn 1998:52).

El mismo cronista, especifica la cantidad de “pilares” utilizados para marcar el inicio de la siembra en el mes de agosto.

“En el cerro más grande del lado oeste del Cuzco edificaban 4 pilares de piedra a manera de torrecillas que podían ser vistas desde más de dos leguas (...) Observaban la posición del sol al llegar a la primera torrecilla y entonces se apercibían para hacer las sementeras generales, comenzaban a sembrar por los lugres más altos en que más tarda la producción. Cuando el sol entraba entre los dos pilares de en medio era el momento de sembrar en el Cuzco y tocaba sierre en agosto (transcripción de Valcárcel 1964, Tomo II: 345, en Williams 1992:102).

Al respecto, Hardman y Hardman desarrollan una teoría de la observación solar lineal y plantean que el horizonte fue el primer referente para conocer la extensión del año, gracias al uso combinado de observaciones solares y lunares, así como del gnomon para conocer los pases cenitales en zonas intertropicales. Esta última, se dificulta en zonas alejadas de los trópicos. Primero, por el tamaño del instrumento que determina el tamaño de la sombra. Segundo, por las características de la sombra que dependen de las caras del gnomon utilizado. Tercero, por el efecto de umbra-penumbra que dificulta conocer el tamaño exacto de la sombra proyectada (1992:150)³⁶.

Dentro de los calendarios de horizonte, se sabe que el Sol si cambia la velocidad constante a lo largo del año. En fecha cercana a los equinoccios, cuando el Sol se desplaza cerca del ecuador, los puntos de contacto con el horizonte cambian perceptiblemente día tras día. A diferencia de fechas cercanas a los solsticios, cuando la diferencia es casi imperceptible ya que el Sol literalmente se detiene (Aveni 2005:91-93). De allí, la importancia de los marcadores pre-solsticiales para el conocimiento del día exacto del solsticio (al norte o al sur de los trópicos) y del uso del gnomon en zonas intertropicales, como el altiplano mexicano y la zona Maya (Hardman y Hardman 1992).

La velocidad de desplazamiento del Sol en la eclíptica no es constante desde el punto de vista de la esfera celeste, por esta razón, las estaciones del año no tienen la misma duración. En el hemisferio sur, el otoño comienza entre los días 21 y 23 de marzo, y termina entre los días 21 y 23 de junio, 93 días. El invierno comienza entre los días 21 y 23 de junio, y termina entre los días 21 y 23 de septiembre, 94 días. La primavera comienza entre los días 21 y 23 de septiembre, y termina entre los días 21 y 23 de diciembre, 89 días. El verano comienza entre los días 21 y 23 de diciembre, y termina entre los días 21 y 23 de marzo, 93 días. Es decir, el Sol se encuentra aproximadamente 186 días y 11 horas en el hemisferio norte, mientras que en el sur sólo está 178 días y 19 horas³⁷ (valor moderno, siglo XX).

³⁶ Por la latitud de Socaire, cercana al trópico de Capricornio, pienso que las observaciones de horizonte y cenit pudieron ser realizadas desde tiempos prehispánicos. La evidencia etnográfica (ver resultados) apoyan esta presunción.

³⁷ <http://www.circuloastronomico.cl/> (accesado el 1 de marzo de 2010).

La Luna

Comparado con el Sol, el movimiento aparente y los cambios cíclicos de la Luna son más complejos. Para un observador del cielo, las fases lunares seguramente fueron el ciclo más obvio de registrar. Éstas coinciden con los ciclos fértiles de las mujeres y también con las actividades agrícolas de siembra, riego, poda y cosecha, de allí el carácter femenino - no exclusivo - de la Luna en gran parte de en las culturas, y los Andes, p.ej. la *Quilla* (en quechua) o la *Mara* (en aymara), ambos también usados para referir a la palabra mes.

El ciclo de las fases o sinódico, tiene una duración de 29.53059 días (valor moderno, siglo XX), inicia - arbitrariamente - después de dos o tres días de invisibilidad, cuando la Luna aparece en el oeste, cerca de donde se está ocultando el Sol, como una delgada creciente al atardecer. En este momento, día 1, la Luna será visible sólo por pocos minutos. La noche siguiente, día 2, por efecto del ángulo que la separa del Sol, la Luna será visible por un tiempo mayor y ligeramente más gruesa. La noche siguiente, día 3, la Luna se ha alejado lo suficiente para permanecer como una gruesa creciente por un periodo de una o dos horas. Al séptimo día, la Luna esta a 90° de la posición del Sol, lo que desde la posición de la Tierra significa que la veremos en cuarto creciente (la mitad del disco), alcanzando su mayor altura en el meridiano celeste al ocaso. A medida que la Luna crece y alcanza su fase llena, día 15, ésta sale progresivamente más temprano y grande, en dirección opuesta al ocaso solar. En la segunda mitad del ciclo, la Luna mengua y sólo es visible a altas horas de la noche, primeras de la mañana y hacia el final del ciclo, en pleno día, acercándose al punto donde sale el Sol, hasta desaparecer por completo (Aveni 2005:98-100).

Los Hopi del suroeste de Estados Unidos, llevaban una cuenta lunar a partir de sus días visibles, es decir, 28 días. Otros periodos de 29 y 30 días han sido utilizados en distintas parte del mundo, cuya lógica parte de una Luna nueva a otra Luna nueva, o por sus fases llenas (Aveni 2005:101). Mientras que en los Andes, la existencia de una cuenta sinódica está presente en la crónica del Inca Garcilaso de la Vega, quién además señala la importancia de las fases como sistema de cuentas:

“Contaron los meses por lunas de una luna nueva a otra, y así llaman al mes quilla, como la luna; dieron sus nombres a cada mes, contaron los medios meses por la creciente y menguante de ella, contaron las semanas por los cuartos, aunque no tuvieron nombre para los días de la semana” (Lib. II, Cap. XXIII: 74, en Ziolkowski y Sadowski 1992:65).

El intervalo entre pasos sucesivos de la Luna por una misma estrella, se llama mes sideral del latín *sidus* (estrella), cuya duración es de 27.32166 días (valor moderno, siglo XX). Corresponde al paso de la Luna por el mismo sector del cielo, p.ej. si vemos a la Luna transitar por la constelación de las Pléyades, estará en la misma posición 27.3 días después, pero en una fase y hora distinta. Este número fraccionario, obliga al observador a tener en cuenta el $\frac{1}{3}$ de día (8 horas) de diferencia, es decir, si p.ej. la primera observación se realiza a media noche, la siguiente será cercana a las 8 am. 27 días y fracción después. Lo que resulta en extremo difícil, pues el Sol ya ha salido y han dejado de ser visibles las estrellas. La teoría indica que tal vez fue posible manejar un ciclo mayor, de tres meses siderales igual a 82 días ($3 \times 27.3 = 81.9$), que permite ver a la Luna (ligeramente desfasada) en una misma constelación y a la misma hora, a intervalos de tiempo sidéreo conocidos (Aveni 2005:102).

Una aproximación a un calendario lunar sideral, corresponde la propuesta de R.T. Zuidema con respecto a la base del sistema de *ceques* del Cuzco. El autor, supone la existencia de un calendario de 328 días (igual al número aproximado de *huacas*), organizado en 12 meses sidéreos ($12 \times 27.3 = 327.6$). El 328 se puede descomponer también en los factores 8 y 41, que corresponden al número promedio de la semana andina y al número de *ceques* del Cuzco, respectivamente. Este calendario lunar sideral, se complementaría con el solar gracias a la observación del periodo de invisibilidad de las Pléyades, entre el 13 de mayo y el 9 de junio, aproximadamente 37 días, relacionados con la cosecha y almacenamiento del maíz en la altitud del Cuzco (Zuidema 1982).

Un tercer movimiento de la Luna, se entiende por efecto de la inclinación de su órbita con respecto a la eclíptica, igual a $5^{\circ}09'$, con la que puede alcanzar puntos sobre el horizonte un poco más al norte y al sur, que el Sol durante los solsticios. A éste, se

suma un leve bamboleo, con periodo de 173.31 días, cuya consecuencia es que la línea de intersección de ambos planos o “línea de los nodos”, no está fija, sino que tiene un movimiento de precesión de 18.61 años (ciclo nodal). Como consecuencia, dentro de un mes sidéreo la Luna ejecuta un movimiento sobre el horizonte, similar al del Sol durante el año, pero con la diferencia que sus extremos no serán fijos, sino que varían no sólo cada mes, sino también dentro del ciclo nodal. De allí, la Luna no tendrá dos, sino cuatro detenciones lunares o “lunisticios” dentro de cada ciclo nodal. Las declinaciones extremas serán igual al valor de la eclíptica $23^{\circ}27' + 5^{\circ}09'$ al norte y al sur, es decir, $+28^{\circ}36'$ y $-28^{\circ}36'$ o lunisticios mayores. Aquí, la Luna llena en el solsticio de invierno toma el lugar del Sol en el solsticio de verano y a la inversa. Los lunisticios menores, ocurren cuando la Luna alcanza valores de $-5^{\circ}09'$, al norte y al sur de la eclíptica, igual a $+18^{\circ}18'$ y $-18^{\circ}18'$, casi nueve años y medio más tarde. La Luna estará una media de unos siete años en cada par de lunisticio y unos dos o tres viajando entre ellos (Aveni 2005:104-105; Belmonte 1999:268-269).

Ya conocida la diferencia entre el periodo sinódico y sidéreo de la Luna, es posible hablar de los **eclipses**, uno de los fenómenos a simple vista más llamativo del cielo. Éstos pueden ser lunares, cuando la Luna entra en la sombra producida por la Tierra, o solares, cuando es la Tierra la alcanzada por la sombra de la Luna. Los eclipses, se producen por la diferencia que existe entre los planos de la órbita de la Tierra en torno al Sol y de la Luna en torno a la Tierra, igual a $5^{\circ}09'$. De lo contrario, habría un eclipse de Luna cada Luna llena o uno de Sol cada Luna nueva. La distancia angular de la Luna al nodo debe ser menor que 4.6° para un eclipse lunar total y menor que 10.3° para un eclipse solar total. Mientras que el intervalo entre dos pases sucesivos de la Luna a través del mismo nodo, se conoce como mes dracónico (27.212220 días). Entre dos y siete eclipses ocurren al año, en conjuntos de uno a tres, separados por 173 días. En un grupo, o sólo ocurren un eclipse solar, o una sucesión de eclipses solar, lunar y solar. El año de eclipses, se define como el periodo entre dos pasajes sucesivos del Sol a través del mismo nodo de la órbita de la Luna (346.620 días), igual a 12.73766 meses dracónicos. Por otra parte, 19 años de eclipses o 242 meses dracónicos (6585.357 días) están cercanos a 223 meses sinódicos. Lo que significa que la configuración Sol-Luna y los eclipses se repiten en el mismo orden,

después de este periodo. Este ciclo fue conocido por los babilonios y por razones históricas se conoce como “saros” (Leiva 2005:53-55).

Planetas

Un planeta, según la definición de la Unión Astronómica Internacional (2006), es un cuerpo celeste que: 1) tiene suficiente masa para que su gravedad supere las fuerzas del cuerpo rígido, de manera que asuma una forma en equilibrio hidrostático (prácticamente esférica), 2) ha limpiado la vecindad de su órbita de planetesimales. Los planetas, dentro del sistema solar son ocho: Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Producen ciclos más complejos que el Sol y la Luna, haciendo honor a su vocablo que proviene del griego πλανήτης (*planētēs*), que significa “vagabundo o errante”. La teoría heliocéntrica, propuesta por Copérnico en *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, publicado en 1543, plantea que todos los planetas giran alrededor del Sol, siendo la Tierra el tercero en el orden.

Desde la posición de la tierra, existe una diferencia en el movimiento aparente de los planetas, el cual depende de su posición con respecto a la órbita terrestre y el Sol. Los planetas inferiores, como Mercurio y Venus, que están entre la Tierra y el Sol, parecen oscilar hacia atrás y delante, como si estuvieran atados del último. Mientras que los planetas superiores como Marte, Júpiter y Saturno (último visible a simple vista), más allá de la órbita terrestre, avanzan siempre por el cielo y ocasionalmente se ven opuestos al Sol (Aveni 2005:116).

La observación del planeta **Venus** como “lucero de la mañana” o “lucero de la tarde” tiene asidero en el área andina. Allí, se le reconoce como *chasca*, palabra quechua para designar a la cabellera larga. Juan Santa Cruz Pachacuti Yamqui, en 1613 d.C. lo integra como parte de la representación cosmográfica del mundo andino en su dibujo del Coricancha. Mientras que en Socaire, se le reconoce como parte del mundo de arriba, sobre el atacameño, junto con el Sol naciente, la Luna (en fase creciente o menguante) y la Cruz del Sur.

Venus, es el objeto más brillante del cielo, después del Sol y la Luna, puede verse incluso a la luz del día. Tiene un periodo de revolución sideral (alrededor del Sol) de 225 días, en la misma dirección que la Tierra, pero relativamente más rápido. Su periodo sinódico o intervalo entre configuraciones sucesivas del planeta con respecto al

Sol (visible desde la Tierra) es de 584 días (ó 1 año y 219 días)³⁸. Es decir, Venus recorrerá cinco trayectorias con respecto al Sol, como estrella de la mañana y de la tarde, en 8 años trópicos terrestres (8 x 365 días = 2920 días). El ciclo de 2920 días, también relaciona el año trópico con el mes sinódico lunar, funcionando de manera similar al ciclo metónico, pero no con la misma exactitud (Aveni 2005:118).

El orto heliaco, corresponde a la primera aparición de Venus por la mañana, después de su conjunción inferior. El planeta aparecerá antes que el Sol, moviéndose cada día más al poniente y permaneciendo más tiempo en el cielo antes del amanecer. Durante este tiempo, Venus alcanza su máximo brillo, por su proximidad con la Tierra. Éste luego disminuye, a medida que alcanza su máxima distancia angular del Sol, igual a 47°, cuando es visible por cerca de tres hora en el cielo. De allí en adelante, el planeta se acerca al astro hasta desaparecer por el resplandor del Sol. Venus permanecerá invisible por un lapso de alrededor de ocho semanas, cercano a la conjunción superior cuando pasa por detrás del Sol. Luego, aparecerá como estrella vespertina por un breve lapso de tiempo antes del ocaso, hasta alcanzar su máxima elongación oriental, cuando está cerca de tres horas en el cielo, después del ocaso. La máxima altura visible de Venus puede producirse varias semanas antes o después de la máxima elongación. Luego de su última aparición en el cielo, Venus desaparece aproximadamente por una semana, pasa por su orto heliaco y reanuda nuevamente el ciclo. Como estrella de la mañana y la tarde Venus estará en el cielo un promedio aproximado de 263 días (Aveni 2005:118-121).

Constelaciones

En occidente, las constelaciones corresponden a figuras construidas - imaginariamente - en el cielo nocturno. Éstas se forman a partir de la disposición de varias estrellas, que parecen cercanas, pero que en realidad pueden estar a millones de años luz de distancia entre sí. Desde 1922, la Unión Internacional de Astrónomos maneja un sistema unificado de 88 constelaciones que dividen el cielo, e incluye las 48 constelaciones del catálogo del Almagesto, escrito por Claudio Ptolomeo a mediados

³⁸ Promedio de cinco ciclos consecutivos de Venus, entre 579.6 y 588.1 días, debido a la naturaleza no circular de las órbitas de este planeta y la Tierra (Aveni 2005:118).

del siglo II d.C. Gran parte de estas, son resultado de distintas tradiciones culturales del hemisferio norte, proveniente de la cultura griega, babilonia-asiria, egipcia. Mientras que las constelaciones del hemisferio sur, se incluyen sólo después del renacimiento, a partir de dibujos de astrónomos y navegantes de los siglos XV y XVI d.C. (Ianuszewski 2002:28).

El avance de la Tierra en su órbita solar anual, produce un cambio en la posición de la esfera celeste noche tras noche. De allí, que las constelaciones que se observan en invierno, son distintas a las que se observan en verano. Sólo las constelaciones australes, como la **Cruz del Sur** cercana al polo sur celeste, son visibles todo el año.

Por milenios, las constelaciones han servido a los observadores del cielo para ubicar planetas y estrellas, sin embargo, hoy las necesidades de la astronomía moderna han introducido el sistema de referencia de horizonte (SRH) y el sistema ecuatorial de coordenadas (SEC).

El primero (SRH), se define como un sistema para localizar objetos celestes que utiliza el horizonte como plano de referencia principal, y el cenit y nadir como sus polos fundamentales. Sus coordenadas se dan en acimut y altitud. El segundo (SEC), utiliza al ecuador celeste como plano de referencia y a los polos celeste norte y sur como sus polos fundamentales. Las coordenadas se dan en ascensión recta y declinación (Aveni 2005:141).

De acuerdo con la nomenclatura de Bayer (1603), las estrellas visibles se clasifican según su brillo, en orden decreciente con las letras del alfabeto griego: alfa (α), beta (β), gama (γ), delta (δ), épsilon (ϵ), etc. Este método, resulta eficiente para las estrellas visibles a simple vista, base de la astronomía de posición, sin embargo, resulta insuficiente para nombrar a la enorme cantidad de estrellas observadas con los telescopios modernos (Ianuszewski 2002:28).

En los Andes existen dos tipos de constelaciones, unas formadas por grupos de estrellas como en el occidente, p.ej. la *Chacana* o Cruz del Sur y las Cabrillas o Pléyades (parte de Tauro). En un segundo grupo, aquellas formadas por zonas oscuras del cielo y la Vía Láctea, como el Zorro, el Sapo, la Perdiz, la *Yacana* o Llama, y el Suri.

Cruz (la Cruz), conocida como la **Cruz del Sur** es una de las 88 constelaciones del cielo, la más conocida y también la más pequeña del hemisferio sur (declinación -

60°). Si se extiende su eje principal, tres veces y media, partiendo de su estrella más brillante *Acrux* (el pie de la Cruz, con magnitud aparente de 0.87) se llega al polo sur celeste, punto en torno el cual gira la bóveda celeste. Desde el siglo XVI, después de la expedición de Américo Vespucio a Sudamérica, se le considera una constelación independiente, antes era parte de la constelación del *Centaurus* dentro de la tradición griega³⁹.

En los Andes, esta constelación simbolizó la *chacana* (representación andina de la Cruz), que en quechua significa “escalera de ascenso y descenso” o “puente hacia arriba y abajo”. Este sector del cielo, al igual que las Tres Marías del Cinturón de Orión, unía simbólicamente el Kay pacha (mundo de acá), el Hanan pacha (mundo de arriba) y el Uku pacha (mundo de abajo). Según la tradición, Wiraqocha (creador y ordenador del mundo), sirvió de inspiración a Pachacuti Inca Yupanqui (1438-1471 d.C.), quién dividió el Tawantinsuyu en cuatro partes, siguiendo la disposición de cada una de las cuatro estrellas de la Cruz. Allí, γ Crucis representa al Chinchaysuyu, al norte. β Crucis representa al Contisuyu, al oeste. δ Crucis representa al Antisuyu, al este. Mientras α Crucis representa al Collasuyu, al sur, región también vinculada con el lago Titicaca (Sullivan 1999).

Entre los grupos mapuche de la patagonia argentina, provincia de Chubut, la constelación de la Cruz del Sur representa la huella del *choique* o ñandú. Hacia el siglo XVIII, según Lehmann-Nitsche, allí se identificaba un inmenso campo de cacería de ñandúes sobre la Vía Láctea. Esta escena, estaba formada por un grupo de cazadores, representado por algunas estrellas y sus boleadoras, α y β Centauro, así como los cuerpos y pulmones de los ñandúes muertos en las Nubes de Magallanes. Al norte, identificaban también el nido de los ñandúes en la constelación de las Pléyades. Entre los mocovíes del Gran Chaco y los bororó del Brasil, existen representaciones similares (Camino 1997).

Otro tipo de constelaciones, son las llamadas oscuras, estas representan animales y personajes míticos como la **yacana** (llama), la **perdiz**, el **zorro**, el **sapo** y el **suri** (Bauer y Dearborn 1998; Sullivan 1999; Urton 1981).

³⁹ http://es.wikipedia.org/wiki/Cruz_del_sur (accesado el 10 de mayo de 2010).

3.2. MEDICIÓN Y CÁLCULO DE HORIZONTES

El trabajo de campo incluye la medición de alturas y acimutes del horizonte con el tránsito topográfico o teodolito. Un GPS (*Global Positioning System*) ayuda a conocer datos como la hora, la posición geográfica y altura del punto de observación, útiles luego para el cálculo de acimutes, alturas y declinaciones. El uso de una buena brújula, la cartografía del IGM, una calculadora para la declinación magnética, la carta solar de Hellmuth Stuvan (1972) y el *Google Earth*, ayudan a conocer la posición - del Sol preferentemente - en el cielo, en distinta épocas del año. No obstante, ningún método, incluyendo el teodolito, puede sustituir la observación directa, debido a que ésta entrega información relevante sobre: juegos de luz y sombra, topoformas, condiciones del clima (viento, lluvia, irradiación solar, etc.), y rituales modernos (indígenas, mestizos u occidentales), asociados al lugar de observación y el fenómeno astronómico.

Una buena brújula magnética, con precisión de 0.5° (diámetro aproximado de la Luna llena), es útil si se trabaja con horizontes y orientación de muros, sin un alto grado de precisión, p.ej. periodos de más de un día como los solsticios. Liller (1996), para el caso de los megalitos de la polinesia chilena en Rapa Nui, inclusive plantea que un margen de 3° en las orientaciones de los *Ahus* y *Moais*, es más que aceptable en arqueoastronomía. Un clisímetro (con precisión de $40'$ a $20'$) puede ayudar a medir alturas de horizontes, aún cuando necesita de cierta destreza en su manejo.

Para obtener acimutes reales, es decir, la corrección del norte magnético con respecto al norte astronómico (en torno al cual giran el Sol, la Luna, estrellas, planetas y constelaciones), se puede optar por los siguientes métodos:

- Utilizar la carta topográfica del IGM y anotar declinación y variación magnética anual, para luego corregir las mediciones en terreno (brújula y clisímetro).
- Manejar una calculadora para la declinación magnética local. Se utiliza un GPS para conocer la latitud y longitud geográfica, para luego corregir los datos tomados en terreno (brújula y clisímetro).
- Valerse de una carta solar (Stuvan 1972) y un software astronómico, para luego corregir los datos tomados en terreno (brújula y clisímetro).
- Realizar directamente las mediciones con tránsito o teodolito para obtener alturas y acimutes reales (mayor precisión).

En cualquiera de los casos, se presenta la información dentro de una fotografía panorámica del horizonte (360°) o seccionada en partes, al oriente y al poniente, para ilustrar los eventos y marcadores astronómicos identificados (dentro de la astronomía de horizonte). Para los eventos cenitales o cercanos a los polos, se optó por la simulación directa del cielo utilizando el programa *Starcalc 5.72*, una vez ya conocida las alturas del horizonte y orientaciones importantes.

En este trabajo, opte por una metodología combinada que aplica la utilización del tránsito en lugares de fácil y mediano acceso, como el centro ceremonial, la iglesia antigua de Socaire y el tambo Chilikues (4500 msm). Así, como de la brújula magnética en lugares de difícil acceso, principalmente en el reconocimiento arqueológico de superficie en la alta montaña (volcanes Chilikues, Pular, Salín y Miñiques) o de interés local, como el cementerio de Socaire.

El teodolito (tránsito), es un instrumento de medición mecánico-óptico que sirve para medir ángulos verticales y horizontales con una alta precisión. Si se suman herramientas auxiliares como una estadal y mediante la taquimetría, también sirve para medir distancias y desniveles. Es útil para trabajos de topografía e ingeniería (triangulaciones) debido a que es relativamente manual y portátil. Se compone de un telescopio, montado sobre un trípode y con dos círculos graduados, uno vertical y otro horizontal, con los que se miden ángulos mediante lentes. Este equipo, ha sido reemplazado por instrumentos más moderno como el teodolito electrónico y la estación total, con los cuales se pueden obtener datos más rápidos y precisos, pero insuficientes para la medición de horizontes en arqueoastronomía (2005:168).

El peso del equipo, aproximadamente 8 kg (incluyendo tránsito y trípode), dificulta su traslado a zonas escarpadas, lejanas o altas, p.ej. la cumbre de una montaña en la zona atacameña. Belmonte (1999:276-277), señala:

“Un teodolito es un instrumento pesado, difícil de trasladar y que, además sólo es útil cuando hace buen tiempo. Imagínese el lector escalando una montaña con un teodolito, baterías incluidas, para luego medir muros de piedra o elementos del paisaje cuya precisión no es mayor a un grado. Yo juro que nunca más lo repetiré si puedo evitarlo”

En mi caso, considere factores como: distancia al lugar de observación (sin camioneta), estabilidad atmosférica y número de días despejados, fecha de la observación (inicios de la primavera y verano), naturaleza de los horizontes, condición de las estructuras (muros de piedra y adobe) y acceso (permisos de la comunidad).

Para medir con tránsito, el proceso es relativamente sencillo:

- Instalar el trípode (extender los pies y apretar los tronillos fijadores).
- Situar el tránsito sobre el trípode (apretar tornillo de seguridad).
- Nivelar el tránsito con los tornillos niveladores.
- Girar tres veces el tránsito sobre su propio eje (verificar los niveles).
- Realizar la medición de alturas y acimutes.

El procedimiento para la toma de medidas es el siguiente:

- Observar el primer y el último contacto (salida o puesta de Sol) sobre el horizonte.
- Realizar tres medidas de Sol (hora GMT) y tres medidas de un marcador de horizonte elegido, de preferencia, lejos de la posición del Sol en el cielo para evitar problemas de sobre exposición a la luz⁴⁰.
- Efectuar las mediciones de los marcadores horizonte (altura y acimut)

Cálculo de Acimut, Declinación y Fecha Solar

Aquí, hago explícito el procedimiento seguido para la obtención de los datos y el posterior cálculo de acimut, declinación y fecha solar. Los datos utilizados, corresponden a la observación del solsticio de verano (21 de diciembre de 2008) desde las cercanías del centro ceremonial de Socaire. El punto del horizonte pertenece a la cumbre norte del volcán Chiliques.

Símbolos:

λ : longitud geográfica

φ : latitud geográfica

TU: tiempo universal (GPS)

TDT: tiempo dinámico terrestre

⁴⁰ Advertencia: el Sol nunca debe ser visto directamente, menos a través de la mira del telescopio del tránsito que amplifica su brillo. La exposición directa a los rayos del Sol puede generar ceguera permanente. El uso de lentes oscuros y filtros solares es obligatorio.

ET: ecuación de tiempo, o diferencia entre la posición del Sol medio y el Sol verdadero, en el anuario el punto de referencia es la hora del paso del Sol por el meridiano de 90°W.

δ: declinación

AH: ángulo horario

LHA: ángulo horario local

msm: metros sobre el nivel del mar

h_{\odot} : altura del Sol sobre el horizonte

h_{hor} : altura del horizonte

A_{\odot} : acimut del Sol

A_{obj} : acimut del objeto

r: corrección de refracción

obs: observado

calc: calculado

Anuario: Anuario del Observatorio Astronómico Nacional, Instituto de Astronomía UNAM.

Datos:

lugar: centro ceremonial socaire (CCS) +/- 30 m. (GMT-4)

fecha: 21/12/08

φ (lat): -23°36'52.4" = -23.61456

λ (long): -67°50'46.8" = -67.84633

alt: 3638 msm

hrs obs \odot (centro disco solar): 08:54:03 (07:54:03 hora real)

v: 27°30'

h: 12°40'

Cálculo Matemático

a) Convertir tiempo reloj (TU) a tiempo anuario

$$TDT = TU + \Delta T$$

$$\Delta T = 51 \text{ seg}$$

$$TDT = GPS + 51''$$

$$TDT = 07:54:03 + 51''$$

$$\mathbf{TDT = 07:54:54}$$

luego

$$TT = TDT + 4 \text{ hrs (GMT)}.$$

$$TT = 07:54:54 + 4 \text{ hrs}$$

$$TT = 11:54:54 = 11.915$$

b) Calcular ET a la hora de observación

$$ET \text{ obs} = ET_1 \pm ([ET_1 + ET_2]/24) \times TT$$

Dato	Valor	decimal
ET ₁ (21 Dic) - día observación	11:58:15.81	11.971058
ET ₂ (20 Dic) - día anterior	11:57:45.94	11.962761
TT	11:54:54	11.915

$$ET \text{ obs} = 11.971058 \pm (3.457083^{-4}) \times 11.915$$

$$ET \text{ obs} = 11.971058 \pm (0.004119)$$

$$ET \text{ obs} = 11.966939$$

c) Declinación a la hora observada (δ)

$$\delta \text{ obs} = \delta_1 \pm ([\delta_1 + \delta_2]/24) \times TT$$

Dato	Valor	decimal
δ_1 (21 Dic)	-23°26'20.2"	-23.43894
δ_2 (20 Dic)	-23°25'51.8"	-23.43106
TT	11:54:54	11.915

$$\delta \text{ obs} = -23.43894 \pm (-3.283333^{-4}) \times 11.915$$

$$\delta \text{ obs} = -23.43894 \pm (-0.003912)$$

$$\delta \text{ obs} = -23.435028$$

Primer Paso (LHA)

$$TT: 11.915$$

$$\lambda \text{ (long): } -67.84633$$

$$\Delta T: 65.5'' = 0.018194$$

$$ET \text{ obs} = 11.966939$$

Dato	Valor	decimal
TT	11:54:54	11.915
λ (long)	-67°50'46.8"	-67.84633
ΔT	65.5"	0.018194
ET obs	-	11.966939

a) $UTC = (TT - \Delta T) \times 15$

$$UTC = (11.915 - 0.018194) \times 15$$

$$UTC = 178.45209$$

b) $UTC - \lambda$ (valor absoluto)

$$178.45209 - 67.84633 = 110.60576$$

c) $(ET \text{ obs}) \times 15$

$$11.966939 \times 15 = 179.504085$$

Entonces:

$$LHA = b - c$$

$$LHA = 110.60576 - 179.504085$$

$$LHA = -68.898325$$

Segundo Paso: Altura del Sol (h_{\odot})

$$h_{\odot \text{ calc}} = \text{ArcSen} (\text{Sen}\varphi \times \text{Sen}\delta + \text{Cos}\varphi \times \text{Cos}\delta \times \text{CosLHA})$$

dato	valor (decimal)	Sen	Cos
φ (lat)	-23.61456	-0.400581	0.916260
δ (dec)	-23.435028	-0.397708	0.917511
LHA	-68.898325	-0.932943	0.360024

$$h_{\odot \text{ calc}} = \text{ArcSen} (-0.400581 \times -0.397708 + 0.916260 \times 0.917511 \times 0.360024)$$

$$h_{\odot \text{ calc}} = \text{ArcSen} (0.159314 + 0.302664)$$

$$h_{\odot \text{ calc}} = \text{ArcSen} (0.461978)$$

$$h_{\odot \text{ calc}} = 27.514818 = 27^{\circ}30'53.4''$$

nota: medición con teodolito = 27°30'

Starcalc 5.72 = 27°43'

Tercer Paso: Acimut del Sol (A_☉)

$$A_{☉\text{calc}} = \text{ArcCos} (\text{Sen}\delta - \text{Sen}\varphi \times \text{Sen}h_{☉\text{calc}} / \text{Cosh}_{☉\text{calc}} \times \text{Cos}\delta)$$

Dato	valor (decimal)	Sen	Cos
δ (dec)	-23.435028	-0.397708	0.917511
φ (lat)	-23.81456	-0.400581	0.916260
$h_{☉\text{calc}}$	27.514818	0.461977	0.886891

$$A_{☉\text{calc}} = \text{ArcCos} (-0.397708 - (-0.400581) \times 0.461977 / 0.886891 \times 0.917511)$$

$$A_{☉\text{calc}} = \text{ArcCos} (-0.397708 - (-0.185059) / 0.813732)$$

$$A_{☉\text{calc}} = \text{ArcCos} (-0.212649 / 0.813732)$$

$$A_{☉\text{calc}} = \text{ArcCos} (-0.261325)$$

$$A_{☉\text{calc}} = 105.148697 = 105^{\circ}08'55.3''$$

nota: A_☉calc Starcalc = 105°7'48''

Acimut de Objeto

a) Cumbre norte volcán Chiliques (datos tránsito)

v: 8°5'

h: 341°40' = 341.66667

A_☉calc: 105.148697

A_☉obs: 12°40' = 12.66667

$$A_{\text{obj calc}} = A_{\text{obj obs}} \pm [A_{☉\text{calc}} - A_{☉\text{obs}}]$$

$$A_{\text{obj calc}} = 341.66667 \pm [105.148697 - 12.66667]$$

$$A_{\text{obj calc}} = 341.66667 \pm [92.482027]$$

$$A_{\text{obj calc}} = 434.148697 - (360)$$

$$A_{\text{obj calc}} = 74.148697 = 74^{\circ}8'55.3''$$

b) Declinación (δ) de un objeto celeste para la cumbre norte de Chiliques.

v: 8°5' = 8.08333

h: 74.148697

alt: 3638 msm

e: 2.718281828459045 (base de los logaritmos naturales)

$$r_{\text{corr}} = r \times e^{-\text{hsm}/8400}$$

$$v: 8.08333 = z: 6^\circ 42' = 0.11167 = r$$

$$r_{\text{corr}} = 0.11167 \times 0.648498$$

$$r_{\text{corr}} = 0.072417$$

Luego:

$$h_{\text{hor}} = v - r_{\text{corr}}$$

$$h_{\text{hor}} = 8.08333 - 0.072417$$

$$h_{\text{hor}} = \mathbf{8.010913 = 8^\circ 0' 39.3''}$$

c) Declinación del objeto (δ)

$$\delta = \text{ArcSen} (\text{Cosh}_{\text{hor}} \times \text{Cos}\varphi \times \text{CosAobj} + \text{Senh}_{\text{hor}} \times \text{Sen}\varphi)$$

Dato	Valor	Cos	Sen
h_{hor}	8.010913	0.990241	0.139361
φ (lat)	-23.61456	0.916260	-0.400581
Aobj	74.148697	0.273141	0.961973

$$\delta = \text{ArcSen} (0.990241 \times 0.916260 \times 0.273141 + 0.139361 \times -0.400581)$$

$$\delta = \text{ArcSen} (0.247825 + (-0.055825))$$

$$\delta = \text{ArcSen} (0.191999)$$

$$\delta = \mathbf{11.069466 = 11^\circ 4' 10.1''}$$

Resumen (Cumbre Norte Volcán Chilikues)

Dato	valor
v (altura)	8°0'39.3''
h (acimut)	74°855.3''
δ (declinación)	11°4'10.1''
fecha calendario (<i>Anuario 2008</i>)	19 de abril y 24 de agosto

3.3. CRONOGRAMA

Septiembre-Noviembre 2008

- Búsqueda de antecedentes.
- Elaboración de proyecto de tesis.
- Adiestramiento en el uso del tránsito/teodolito.

Diciembre 2008 (Primera Temporada Trabajo de Campo)

- Presentación de proyecto de tesis a la comunidad de Socaire.
- Realización de entrevistas.
- Observación y registro del solsticio de verano desde el centro ceremonial de Socaire.
- Reconstrucción del horizonte de observación (medición con tránsito).
- Registro del centro ceremonial de Socaire.
- Reconocimiento arqueológico del volcán Chiliques (ladera noreste y cumbre).
- Reconocimiento arqueológico volcanes Pular y Salín.

Enero-Julio 2009

- Análisis de la información de horizonte.
- Transcripción de los cuadernos de campo.
- Búsqueda de antecedentes.
- Redacción de artículos y participación en congresos.

Agosto-Septiembre 2009 (Segunda Temporada de Trabajo de Campo)

- Familiarización con sitios arqueológicos de interés astronómico y calendárico en Bolivia, área circum-Titicaca.
- Observaciones astronómicas en tambos y *ushnus* Inca en Salta y Jujuy, Argentina.
- Reconocimiento arqueológico nevado de Cachi, Salta, Argentina.
- Trabajo de archivo y gabinete (Instituto Interdisciplinario Tilcara, FFyL Universidad de Buenos Aires)

Octubre 2009 (Segunda Temporada de Trabajo de Campo)

- Realización de entrevistas en Socaire.
- Etnografía ceremonia limpia de canal y *talatur*.
- Reconstrucción del horizonte de observación desde iglesia antigua Socaire.

- Medición orientación iglesia antigua y cementerio de Socaire.
- Reconocimiento arqueológico laguna y volcán Miñiques.
- Presentación resultados preliminares a la comunidad de Socaire.
- Trabajo de archivo y gabinete (bibliotecas especializadas en San Pedro de Atacama y Santiago de Chile).

Noviembre-Diciembre 2009

- Transcripción de los cuadernos de campo.
- Análisis de horizontes (Socaire, Atacama-Chile. Apunao, Salta-Argentina)
- Análisis de la información (construcción de figuras y croquis).
- Redacción manuscrito.

Enero-Mayo 2010

- Presentación resultados preliminares (reunión comité tutorial).
- Participación en congresos especializados.
- Redacción manuscrito.

Junio-Julio 2010

- Entrega borrador final para evaluación
- Defensa tesis maestría